

Phys. sp.

833

h

Phys. sp. 833 h

<36635219640010

<36635219640010

Bayer. Staatsbibliothek

OV
BEITRÄGE ZUR THERMOMETRIE.

I.

Ueber die Nullpuncts-Depressionen der Normal-
Thermometer.

Phys. sp. 833 h

Inaugural-Dissertation,

welche mit Genehmigung

der

Philosophischen Facultät der k. Universität zu Breslau

behufs Erlangung der Doctorwürde

Dienstag den 23. November 1875, Vormittags 10¹/₂ Uhr,

in der

AULA LEOPOLDINA

öffentlich vertheidigen wird

der Verfasser:

JOHANN PERNET

gegen die Herren:

Prof. Dr. Ernst Dorn.

Dr. Carl Schumann.

Dr. Paul Neugebauer.

191 R
München 1875.



Bayerische
Staatsbibliothek
München

Seinem hochverehrten Lehrer

und väterlichen Freunde,

Herrn Dr. Heinrich Wild,

Mitglied der kaiserl. Akademie der Wissenschaften

und

Director des physicalischen Central-Observatoriums in St.-Petersburg,

sowie

Seinen hochverehrten Lehrern

und väterlichen Freunden

Herrn Dr. Heinrich Wild.

Abgeordnet, der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften

und

der philosophisch-historischen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften

Phys. sp. 833 h

Seiner theuren Mutter,
Catharina Lucia Pernet,
geb. Seewer,

der treuesten und aufopferndsten Freundin seiner Studien,

in inniger Dankbarkeit und Verehrung

gewidmet

vom Verfasser.

Seiner theueren Mutter
Catharina Lucia Perinot
geb. Gessner

in inniger Dankbarkeit und Verehrung
Ihre ergebene Tochter
Catharina Perinot

Einleitung.

Das Quecksilberthermometer, in seiner vollkommensten Form, ist unstreitig das bequemste Instrument zu raschen Temperaturbestimmungen. Mit Leichtigkeit können an einem guten Normalthermometer noch Hundertstel-Grade abgelesen und, nach einiger Uebung, sogar noch Bruchtheile derselben geschätzt werden. Um so mehr war es zu bedauern, dass nach den bisherigen Erfahrungen, selbst bei gleicher Behandlung, die Angaben guter, calibrirter, aber individuell verschiedener Instrumente dermaassen differirten, dass die Ablesungsfehler zur Erklärung des Unterschiedes nicht ausreichten.

Bei der Wiederaufnahme meiner Untersuchungen über die Methoden zur Bestimmung der Erdtemperaturen¹⁾ überzeugte ich mich, dass unter Umständen die Angaben eines Thermometers schon bei 30° um 0°,04 C., und bei 50° um 0°,08 C. verschieden ausfallen können, je nachdem die eine oder andere der neuerdings vorgeschlagenen Berechnungsweisen angewandt wird. Es ergab sich dies bei einer Vergleichung der Thermometer, die im Laufe des Octobers 1874 zur Bestimmung der Constanten mehrerer Erdthermometer benutzt worden waren. Dieselben wurden mit einem Normalthermometer (Nr. II) verglichen, welches mir mein Freund, Herr Prof. Dr. Dorn, freundlichst geliehen hatte. Es war dasselbe erst im vorhergehenden Jahre angefertigt und bald darauf von Prof. Dorn selbst sehr sorgfältig calibrirt worden. Während der Versuche, die vom 9. bis zum 27. October 1874 dauerten, war sein Nullpunct um 0,24 Scalentheile (0°, 1 C) gestiegen.²⁾ Da ich das Normalthermometer zu ferneren Messungen benutzen und daher vorläufig keine noch-

1) Repertorium für Meteorologie Bd. II pag. 87 St. Petersburg 1871.

2) Dasselbe war nur Temperaturen zwischen $c - 5^{\circ} C$ und $+ 20^{\circ} C$ ausgesetzt gewesen.

malige Siedepunctsbestimmung vornehmen wollte, so musste ich mich für eine der Ansichten entscheiden, ob der Siedepunct als constant oder als variabel anzusehen sei.

Die Ansicht, dass der Siedepunct auch im Laufe der Zeit constant bleibe, beruht auf den Erfahrungen, die Dorn schon früher¹⁾ und seither wiederholt an ganz gleichen Thermometern gemacht und auf der letzten Naturforscherversammlung²⁾ mitgetheilt hat. Er empfahl, für das Intervall von -10 bis $+30^{\circ}$, bei der Berechnung den nach der Siedepunctsbestimmung beobachteten Nullpunct zu benutzen, und von den erhaltenen Temperaturen die Variation des Nullpunctes in Abzug zu bringen. Ueber 40° hinaus gebe diese Berechnungsweise keine gute Uebereinstimmung mehr, es sei daher, für das Intervall von 40 bis 100° C., der jedesmalige Nullpunct mit dem beobachteten, als constant zu betrachtenden Siedepuncte zu combiniren.

Diesen Erfahrungen standen diejenigen entgegen, welche seinerzeit mein hochgeehrter Lehrer, Herr Akademiker Wild in St. Petersburg, an zwei genau untersuchten Normalthermometern der eidgenöss. Eichstätte in Bern gemacht hatte.³⁾ Bei diesen war der Siedepunct während dreier Jahre um denselben Betrag gestiegen, als der Nullpunct, wenn man von den temporären Erniedrigungen des letzteren absah, die nach einer Siedepunctsbestimmung eintraten und nach c. 6 Monaten wieder vollständig verschwanden.

Hieraus würde folgen, dass der Abstand der Fundamentalpuncte stets derselbe bleibe und nur im Laufe der Zeit auf der Scala etwas in die Höhe rücke. Die Nullpuncts-Variation würde also von allen Ablesungen als constante Correction in Abzug zu bringen sein.

Da beide Ansichten sich auf das Verhalten der Thermometer in den ersten Jahren nach ihrer Anfertigung stützten, so schien es mir lohnend, Controllversuche mit alten Thermometern anzustellen. Ich benutzte hierzu vorerst ein Normalthermometer von F. Geissler in Berlin, welches im Jahre 1865 für das hiesige physikalische Institut

1) Schriften der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr. Jahrg. XIII 1872.

2) Tageblatt der 47. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte pag. 174.

3) Denkschriften der schweiz. naturforsch. Gesellschaft 1868. — Repertorium für Meteorologie T. III Nr. 1, St. Petersburg 1874, pag. 106.

angeschafft worden war. Dasselbe, ein direct in Zehntelgrade getheiltes Einschluss thermometer, war lange Zeit zu keinerlei Messungen benutzt worden.

Am 16. März d. J. fand ich die Correction des Nullpuncts $= - 0^{\circ},92$ C.; diejenige des Siedepuncts betrug anfangs $- 0^{\circ},61$ C. und schliesslich constant $- 0^{\circ},51$ C. Die niedrigste beobachtete Nullpuncts-correctio n ergab sich als $- 0^{\circ},28$ C. Leider waren keine Angaben über etwaige frühere Bestimmungen der Fixpuncte vorhanden. Es schien mir jedoch aus diesem Versuche hervorzugehen, dass der Siedepunct in den 10 Jahren etwas weniger in die Höhe gerückt sei, als der Nullpunct, falls man nicht annehmen wollte, dass derselbe ursprünglich um $0^{\circ},3$ C. unrichtig bestimmt worden sei. Bei der ausserordentlichen Sorgfalt, welche die renommirteren Glasbläser auf die Anfertigung der Normal thermometer verwenden, ist es aber kaum denkbar, dass der Siedepunct in Folge von Beobachtungsfehlern um $0^{\circ},3$ C. zu hoch auf der Scala notirt werde; es würde dies z. B. einer Barometer-correctio n von c. 8 Millimetern entsprechen. Anderseits ergeben aber die sehr sorgfältigen Beobachtungen von Wild,¹⁾ dass c. ein Jahr nach der Anfertigung, selbst bei den in jeder Beziehung so ausgezeichneten Normal thermometer n von Dr. H. Geissler in Bonn, der Siedepunct um $0^{\circ},10$ bis $0^{\circ},27$ C. tiefer liegt, als der entsprechende Scalentheil. Diese Normal thermometer²⁾, und, nach meinen oben mitgetheilten Angaben wohl auch diejenigen von F. Geissler in Berlin, erheischen also übereinstimmend eine anfänglich positive Siedepuncts-correctio n. Dies war mir schon früher aufgefallen und schien mir kein blosser Zufall zu sein. Es hatte sich mir die Vermuthung aufgedrängt, dass eine, zur Vermeidung grösserer Correctionen, wohl aus langjähriger Erfahrung abgeleitete Regel zur Bestimmung der Fixpuncte diesen kleinen Fehler bedingen werde. Wenn die Verfertiger von Thermometern nicht ein ganz enormes Lager schon vor langer Zeit gefüllter Thermometerröhren von allen möglichen Dimensionen besitzen, so wird die Bestimmung der Fixpuncte im Allgemeinen zu frühe nach der Füllung

1) Repertorium für Meteorologie III. Bd. No. 1, pag. 107.

2) Vergl. Arthur von Oettingen: Ueber die Correctionen der Thermometer. Inaugural-Dissertation. Dorpat 1865, pag. 65, wonach die beobachtete Siedepuncts-correctio n eines Normal thermometer s von Dr. H. Geissler in Bonn gleichfalls $+ 0^{\circ},21$ C. betrug.

der Thermometerröhren vorgenommen werden müssen. In diesem Falle ist es rationell, erst den Siedepunct und später den Nullpunct zu bestimmen. Bei den meisten Thermometern aus gewöhnlichem Glase verschwindet die in Folge andauernder Erwärmung eingetretene Erweiterung des Quecksilbergeäßes¹⁾, selbst nach einer Erwärmung auf nur 100° C., erst nach c. 6 Monaten vollständig. Es wird daher der nicht lange nach der Füllung beobachtete Siedepunct, und, in noch höherem Grade, der Nullpunct zu niedrig markirt werden. Selbst wenn die von der Füllung herrührende Nachwirkungsdilatation durch elastische Nachwirkung bereits in ihrem vollen Betrage wieder aufgehoben ist und keine Unsicherheit mehr bedingt, so wird doch der Nullpunct zu niedrig notirt werden, falls derselbe früher als c. 6 Monate nach dem Siedepuncte bestimmt wird. Fertigt man die Scala nicht unmittelbar nach der Bestimmung der Fundamentalpuncte an, so steigt inzwischen der Nullpunct wieder um einen gewissen Betrag. Gehen nun die Glasbläser von der Ansicht aus, dass der Abstand der Fixpuncte constant bleibe, so werden sie die Scala so verschieben, resp. anfertigen, dass der mit Null bezeichnete Theilstrich derselben mit dem neuen Nullpunct übereinstimmt. Der Siedepunct wird alsdann einer kleinen, positiven Correction bedürfen. Dieses Verfahren hat offenbar den Zweck, dass die Correctionen während einer Reihe von Jahren immer nur wenige Zehntelgrade betragen. Es wird sich die Siedepunctscorrection ungefähr um denselben Betrag vermindern, um welchen der Nullpunct steigt. Meine Nachforschungen, ob sich die Sache so verhalte, hatten leider nur einen theilweisen Erfolg. Das Einzige, was ich durch die Güte des Herrn H. Büchler dahier von seinem Lieferanten in Erfahrung bringen konnte, war, dass in der That manche Glasbläser erst den Siedepunct und dann den Nullpunct bestimmen, und dass sie ferner genöthigt sind, die Bestimmung der Fixpuncte vor Ablauf von

1) Um mich kürzer auszudrücken, werde ich von nun an denjenigen Theil der Gefässerweiterung, der erst nach längerem Erwärmen nach und nach eintritt und nach der Abkühlung nicht sofort, sondern gleichfalls erst im Laufe der Zeit verschwindet, mit Nachwirkungs-Dilatation bezeichnen. Es wird hierdurch, analog wie in den Ausdrücken: Druck-Dilatation und thermische Dilatation, der Ursprung derselben angedeutet. Um von vornherein Missverständnissen vorzubeugen, bemerke ich gleich hier, dass die elastische Nachwirkung die, durch lange anhaltende Torsion, Erwärmung etc. entstandenen Nachwirkungs-Dilatationen aufzuheben bestrebt ist, und die Molecüle nach und nach in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückführt.

6—8 Monaten nach der Anfertigung der Thermometer vorzunehmen. Da die letzteren anfänglich einer sehr geringen Nullpuncts correction bedürfen, so ist damit meine Ansicht für gewöhnliche Thermometer bestätigt.¹⁾ Inwiefern dieselbe auch bei den, in jeder anderen Hinsicht so vorzüglichen Instrumenten der renommirten Firmen zutrifft, vermag ich nicht zu entscheiden. Ich glaube jedoch meine Vermuthung trotz dessen hier mittheilen zu sollen; vielleicht nimmt alsdann einer der Herren Veranlassung, sich darüber auszusprechen. Es wäre dies, bei der grossen Verbreitung, welche ihre vorzüglichen Instrumente gefunden haben, gewiss von allseitigem Interesse.

Aus diesen Gründen scheinen mir daher die oben mitgetheilten Beobachtungen an dem Normalthermometer von F. Geissler nicht im Stande, die Frage zu entscheiden, ob der Abstand zwischen dem, nach langer Ruhe erhaltenen, jeweiligen Nullpunct und dem unmittelbar darauf bestimmten Siedepuncte auch nach 10 Jahren noch derselbe geblieben ist. Dagegen bestätigen sie vollkommen eine andere, gleichfalls von Wild²⁾ gemachte Beobachtung, wonach sowohl der Nullpunct, als auch der Siedepunct nach längerem, aber einmal unterbrochenem Sieden Depressionen erleiden. Sogar in dem Verhältniss, in welchem die letzteren zu einander stehen, zeigt sich eine grosse Uebereinstimmung. Bei dem von Wild untersuchten Normalthermometer betrug die Depression des Nullpunctes $0^{\circ},38$ C., diejenige des Siedepunctes $0^{\circ},05$ C. Die oben mitgetheilte Maximal-Depression, welche der Nullpunct des Normalthermometers des hiesigen Cabinets nach einer Erwärmung auf 100° C. erlitt, muss, aus später zu erörternden Gründen, zu $0^{\circ},69$ C. angenommen werden, während diejenige des Siedepunctes $0^{\circ},10$ C. bleibt. Das Verhältniss ist daher in beiden Fällen nahezu $\frac{1}{7}$. Dass A. von Oettingen³⁾ die Siedepunctsdepressionen in Abrede stellt, indem er an einem Normalthermometer von Geissler in Bonn keine solche bemerken konnte, ist leicht erklärlich. Nach meinen seitherigen Beobachtungen ist die Nullpunctsdepression, also wohl auch die Siedepunctsdepression, schon nach 10 Minuten langem Sieden grösstentheils eingetreten. Dieser

1) Wenn manche, ganz billige Thermometer eine negative Siedepuncts correction erfordern, so wird dies von der geringen Sorgfalt herrühren, mit welcher die Siedepunctsbestimmung an denselben vorgenommen wird. Nichtberücksichtigung des Barometerstandes und unvollständiges Umhüllen der Thermometerröhre mit Wasserdampf reichen aus, um diese Correction zu bedingen.

2) Repertorium für Meteorologie. T. III, pag. 109. St. Petersburg 1874.

3) Ueber die Correctionen der Thermometer. Dorpat 1865, pag. 71.

Zeit bedarf aber auch der Quecksilberfaden, um in seiner ganzen Länge die Temperatur von 100°C. anzunehmen. Beträgt die Siedepunctsdepression daher nur wenige Hundertstel-Grade, so kann sie sehr leicht durch das noch andauernde, langsame Steigen des Quecksilberfadens verdeckt werden. In der That konnte ich eine Siedepunctsdepression nicht mehr beobachten, als ich den Nullpunct des Thermometers von F. Geissler bereits auf $0^{\circ},5\text{C.}$ deprimirt hatte, so dass derselbe nach der Siedepunctsbestimmung nur noch um $0^{\circ},27\text{C.}$ sank.

Alle bisherigen Erfahrungen stimmen darin wenigstens überein, dass nach längerem und besonders nach unterbrochenem Sieden schliesslich der Siedepunct constant wird. Aus den Beobachtungen von Wild,¹⁾ sowie aus den folgenden Versuchen, erhellt die ebenso wichtige Thatsache, dass auch der deprimirte Nullpunct jeweilen gegen eine bestimmte Grenze convergirt. —

Thermometer I. (Ueber 10 Jahre alt.)

Zeit des Siedens.	Siedepuncts-Correction.	Nullpuncts-Correction.
—	—	$-0^{\circ},2\text{C}$
10'	$-1^{\circ},0$	$+0^{\circ},2$
10'	$-0^{\circ},9$	
10'	$-0^{\circ},9$	$+0^{\circ},3$
10'	$-0^{\circ},9$	$+0^{\circ},4$
18'	$-0^{\circ},9$	$+0^{\circ},4$
6	$-0^{\circ},9$	$+0^{\circ},4$

Thermometer II. ($1\frac{1}{2}$ Jahr alt.)

Zeit des Siedens.	Siedepuncts-Correction.	Nullpuncts-Correction.
—	—	$-0^{\circ},2\text{C.}$
10'	$-1^{\circ},17$	$+0^{\circ},4$
38'	$-1^{\circ},10$	
30'	$-1^{\circ},1$	$+0^{\circ},4$
1 h.	$-1^{\circ},1$	$+0^{\circ},4$

Beide Thermometer zeigen übereinstimmend eine Siedepunctsdepression von der oben angegebenen Ordnung und, worauf es uns hier ankommt, auch eine Constanz des deprimirten Nullpunctes.

Während der jeweilige Nullpunct, nach den Versuchen von Herrn stud. Dercks²⁾, schon durch eine Erwärmung auf 42° um mehrere Hundertstel-Grade deprimirt wurde, ja sogar, nach den viel älteren, sehr werthvollen Beobachtungen von Despretz³⁾ im Sommer sinkt und im Winter steigt, und, wie aus meinen Beobachtungsreihen hervorgeht, sogar schon durch den Wechsel der Zimmertemperatur in merklichem Grade beeinflusst wird, so haben wir in dem durch Siedepunctsbestimmungen maximal deprimirten Nullpuncte, bei Vermeidung von Temperaturen über 100° , einen, wenn nicht absolut, so doch relativ unveränderlichen Nullpunct. Die langsame Verschie-

1) Repertorium für Meteorologie. St. Petersburg, T. III, Nr. 1, pag. 109.

2) A. von Oettingen über die Correctionen der Thermometer pag. 62.

3) Annales de Chimie et de Physique. I Ser. Tome 64. pag. 313 u. f.

bung desselben im Laufe der Zeit, durch andauernde Einwirkung des äusseren Luftdrucks, lässt sich sehr leicht durch längeres Erwärmen des Thermometers auf 100° constatiren, also in Rechnung ziehen.

Wenn nun schon nach den Beobachtungen von Wild¹⁾, in einem speciellen Falle, bei 2 Normalthermometern von H. Geissler in Bonn, ein Jahr nach ihrer Anfertigung, der Nullpunct um denselben Betrag sich hob, wie der Siedepunct, so muss dies schon früher mit dem deprimirten Nullpunct der Fall gewesen sein. Es wird dies eintreten, sobald die von der Füllung herrührende Nachwirkungsdilatation schon so weit aufgehoben ist, dass der Nullpunct durch eine Siedepunctsbestimmung bereits um einen merklichen Betrag deprimirt wird. Dass hierzu unter Umständen schon circa 3 Wochen genügen, zeigen die folgenden Bestimmungen an einem Thermometer, welches Herr Prof. Dr. O. E. Meyer mir in freundlichster Weise zu meinen Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat. Dasselbe wurde in Königsberg in Pr. am 23. März 1858 angefertigt und von Herrn Prof. Meyer sorgfältig calibrirt. Die Bestimmung der Fixpuncte wurde im April 1858 in der Weise vorgenommen, dass erst der Siedepunct und dann der Nullpunct beobachtet wurde. Seither ist nur der Nullpunct von Zeit zu Zeit verificirt worden.

In der folgenden Tabelle sind die Beobachtungsergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

Thermometer III.

(17 Jahre alt.)

(Fehlergrenze einer Beobachtung $\pm 0^{\circ},07$. $1^{\circ} = 0^{\circ},436$.)

Datum.	Nullpunct.	Siedepunct.	Deprimirter Siedepunct.	Deprimirter Nullpunct.
April 1858.	—	—	283 σ ,05	55 σ ,65
2. März 1859.	56 σ ,4	—	—	—
Februar 1862.	56 4	—	—	—
5. März 1862.	56 6*)	—	—	—
7. Februar 1875.	57 0	—	—	—
19. März 1875.	57 0	—	—	—
30. Juli 1875.	—	283 σ ,57	—	56 σ ,30
" " "	—	283 56	—	56 10
31. " "	—	—	283 σ ,51	56 15
" " "	—	—	283 47	56 05

1) Repertorium für Meteorologie T. III Nr. 1. St. Petersburg 1874 pag. 107.

*) Am 3. März wurde das Thermometerrohr abgenommen, die Scala gereinigt und nachher wieder eingehakt und festgeschraubt. Es hat dabei eine Verschiebung sowohl des Nullpunctes, als auch des Siedepunctes um $0\sigma,2$ stattgefunden.

Die von Herrn Prof. Dr. O. E. Meyer seinerzeit in Königsberg in Pr. vorgenommene Siedepunctsbestimmung, und meine hiesigen Siedepunctsbestimmungen sind durch Anbringung der Schwerecorrectionen an den Barometerständen und Reduction auf 100° C. vergleichbar gemacht worden. Da sowohl der Siedepunct, als auch der Nullpunct von der am 5. März 1862 erfolgten Scalenverschiebung beeinflusst worden ist, so hat der deprimirte Siedepunct in 17 Jahren sich nur um $0^{\circ},24 = 0^{\circ},105$ C. und ganz entsprechend der deprimirte Nullpunct um $0^{\circ},25 = 0^{\circ},109$ C. gehoben. (Die Differenz von $0^{\circ},01 = 0^{\circ},004$ C. beträgt $\frac{1}{7}$ des möglichen Beobachtungsfehlers.) Dagegen ist der nach langer Ruhezeit bestimmte Nullpunct in 16 Jahren um $0^{\circ},4 = 0^{\circ},17$ C. gestiegen.

In vollständiger Uebereinstimmung hiermit sind auch die Resultate, welche ich sowohl aus eigenen, als auch aus den, mir von Herrn Prof. Dr. Dorn gütigst mitgetheilten Beobachtungen an seinen beiden Normalthermometern gezogen habe. Beide Thermometer sind im November 1873 angefertigt worden. Seit Januar 1874 hat sich bei beiden weder der deprimirte Siedepunct, noch der deprimirte Nullpunct um eine messbare Grösse gehoben, während dagegen der nach langer Ruhe bestimmte Nullpunct des Normalthermometers I sich in 4 Monaten um $0^{\circ},2 = 0^{\circ},09$ C., derjenige des Normalthermometers II in 6 Monaten um $0^{\circ},3 = 0^{\circ},13$ C. gehoben hat.

Fassen wir diese Thatsachen zusammen, so gelangen wir zu folgenden Resultaten:

- 1) Sowohl der Siedepunct, als auch der Nullpunct der Thermometer erreichen nach längerem, besonders aber nach unterbrochenem Sieden einen jeweilig constanten Stand.
- 2) Das Intervall zwischen dem maximal deprimirten Nullpuncte und dem gleichfalls deprimirten Siedepuncte, ist weniger veränderlich, als dasjenige zwischen dem jedesmaligen Nullpuncte und dem nachher bestimmten Siedepuncte.
- 3) Der deprimirte Nullpunct und der entsprechende Siedepunct verschieben sich im Laufe der Jahre nur um einen geringen Betrag. Diese Verschiebung ist kleiner, als diejenige, welche der nach langer Ruhe bestimmte Nullpunct erfährt.

Es wird hierdurch die Möglichkeit geboten, das Intervall von 0° — 100° C. durch zwei, scharf definirbare Punkte zu bestimmen, und, was ebenso wichtig ist, die Ausdehnung des Quecksilbers auf ein bestimmtes Anfangsvolumen zu beziehen. Als ein solches dürfte dasjenige anzusehen sein, welches der Hohlraum des Quecksilbergefäßes angenommen hat, wenn der Nullpunct seine, der Temperatur von 100° C. entsprechende Maximaldepression erlitten hat. 1° C. wäre alsdann der hundertste Theil des Intervalls zwischen dem schliesslich constanten Siedepuncte und dem durch die Siedepunctsbestimmungen maximal deprimirten Nullpuncte.

Es wird sich nun darum handeln, die Abhängigkeit der Nullpunctsdepressionen von Zeit und Temperatur festzustellen.

Die letztere Aufgabe hoffe ich in der folgenden Abhandlung in erster Annäherung gelöst zu haben.

I.

Ueber die Abhängigkeit der Nullpunctsdepressionen der Normalthermometer von der Temperatur.

1) Kritik der älteren Untersuchungen.

Die vorzüglichen, von Prof. Egen in den Jahren 1827 u. 28 publicirten Untersuchungen¹⁾ über das Thermometer bilden die Grundlage einer genaueren Kenntniss des letzteren. In Bezug auf unsere Aufgabe hat Egen unstreitig das Verdienst, zuerst eine Reihe sorgfältiger Versuche angestellt zu haben, aus welchen sich folgende That- sachen ergeben:

- 1) Nach einer Erwärmung auf 100° sinkt im Allgemeinen sowohl der Nullpunct luftleerer, als mit Luft erfüllter Thermometer, falls dieselben vorher längere Zeit nur Zimmertemperaturen ausgesetzt gewesen waren.
- 2) Jede unmittelbar darauf folgende Erwärmung deprimirt den Nullpunct nur noch um einen geringeren Betrag und wohl nicht über eine bestimmte Grenze hinaus.
- 3) Die Depression ist nicht bei allen Thermometern dieselbe.
- 4) Der Nullpunct ist tiefer nach plötzlichen, als nach langsamen Abkühlungen.
- 5) Die Depressionen des Nullpunctes, sowohl luftleerer, als auch mit Luft erfüllter Thermometer verschwinden nach und nach von selbst wieder. Am ersten Tage nehmen dieselben rascher ab, als an den folgenden Tagen.

Egen suchte diese That- sachen durch die Hypothese zu erklären, dass durch starke Erwärmungen und Abkühlungen die Sprödigkeit und

1) Pogg. Ann. Bd. 11, pag. 276, 335, 517; sowie Bd. 13, pag. 33.

zugleich das Volumen des Glases verändert werde. Die Depressionen scheinen ihm keiner Regelmässigkeit unterworfen zu sein.

Da jedoch die Zeit, welche zwischen der Erwärmung und der Nullpunctsbestimmung verfloss, nicht stets dieselbe war, so wird hierdurch die Unregelmässigkeit der Depressionen vollständig erklärt. Wie wir unten nachweisen werden, steigt unter Umständen der deprimirte Nullpunct in den ersten 15 Minuten schon wieder um mehrere Hundertstelgrade. Egen musste daher nach langsamen Abkühlungen zu hohe Nullpuncte beobachten, da er noch halbe Hundertstel mit Sicherheit geschätzt hat.

Im Jahre 1837 machte der rühmlichst bekannte, französische Physiker Despretz in einer besonderen Abhandlung¹⁾ darauf aufmerksam, dass Nullpunctsdepressionen bei Normalthermometern nicht nur nach einer Erwärmung auf 100° eintreten, sondern dass schon die Temperaturänderungen der Atmosphäre ausreichen, um messbare Oscillationen des Nullpunctes hervorzurufen.

Zwei seiner Thermometer (V und V'), die im Jahre 1832 angefertigt worden und deren Nullpuncte in 5 Jahren respective um 0°,46 und 0°,45 C. gestiegen waren, hatten am 23. Juni übereinstimmend eine Nullpunctscorrection von nur — 0°,42 C. Es waren daher die Nullpuncte im Juni respective um 0°,04 C. und 0°,03 C. niedriger, als im Februar desselben Jahres. Da die Beobachtungsfehler nur 0°,01 C. betragen konnten, und die Qualität des Eises keine messbare Unsicherheit bedingte, so äusserte schon Despretz pag. 315:

„Il suit de dernier résultat que le zéro d'un thermomètre baisse en été et monte en hiver.“

Diese Thatsache ist nicht in ihrem vollen Werthe gewürdigt, noch weniger aber die grosse Tragweite der pag. 320 gegebenen, einfachen Erklärung erkannt worden.

Diese letztere lautet in der Despretz eigenen, klaren und präcisen Ausdruckweise:

„Tous ces faits ne concourent-ils pas à établir que toutes les fois „que les molécules d'un corps solide éprouvent un déplacement par une „cause mécanique, comme la pression, l'attraction, ou la torsion; par „une cause physique, comme une élévation ou un abaissement de tempé-

1) Observations sur le déplacement et sur les oscillations du zéro du thermomètre à mercure. Ann. de Chimie et de Physique. I Série. Tome 64. pag. 312.

„rature, elles ne reprennent pas exactement leurs positions primitives, lorsqu'elles sont soustraites à ces causes; c'est-à-dire, que si le volume a été diminué ou augmenté d'une manière plus ou moins considérable par une force quelconque, il reste plus ou moins long-temps diminué ou augmenté après que cette force a cessé d'agir.“

Da wohl nur in Bezug auf wenige, äussert homogene und sehr elastische Substanzen die Gültigkeit dieser Regel bestritten werden kann¹⁾, so muss auf die letztere bei sehr genauen volumetrischen Messungen Rücksicht genommen werden. Manche bisher lediglich Beobachtungsfehlern zugeschriebene Differenz wird aus diesem Umstande erklärt werden können.

Leider hat Despretz keine Messungen über den Betrag der Depressionen des Nullpunctes nach Erwärmungen, die weniger als 100° betrug, angestellt und bei den Siedepunctbestimmungen keine Angaben über die Zeit der Erwärmung gemacht. Es bestätigten daher seine Untersuchungen lediglich die Thatsache des Auftretens von Depressionen nach Erwärmungen auf 100° und machten es ferner wahrscheinlich, dass solche Depressionen schon bei niedrigeren Temperaturen wahrgenommen werden können.

Muncke war der Erste, der betonte, dass es nicht richtig sei, dieselbe Nullpunctscorrection an allen Ablesungen anzubringen, da ein Theil derselben bei 100°, und ein geringerer Theil wohl schon bei niedrigeren Temperaturen verschwinde.²⁾ Er spricht sein Bedauern aus, dass Egen die Frage unerörtert lasse, ob Depressionen schon bei Temperaturen unter 100° eintreten, und ob dieselben etwa der Temperatur proportional seien.

1) Vergl. in den Mémoires de l'Académie imp. des Sciences de St. Petersburg VII Série Tome XVIII, No. 8. die: Etudes métrologiques par H. Wild St. Petersburg 1872. pag. 12 u. ff.

Aus den a. a. O. p. 12 von Wild mitgetheilten Beobachtungen, die wir an Stäben aus Messing und aus Quarz von je 1 Decimeter Länge angestellt hatten, ergab sich, dass durch Erschütterungen, durch successive Erwärmungen auf 50° und Abkühlungen auf 0° der Messingstab sich um 0,0016 Millimeter dauernd verlängert, der Quarzstab dagegen sich um 0,0001 Millimeter verkürzt hatte. Da die Beobachtungsfehler c. 0,0003 Millimeter betrugen, so kann sich der Quarzstab möglicherweise gar nicht verändert haben. Es wäre interessant zu erfahren, ob inzwischen die Verlängerungen des Messingstabes wieder verschwunden sind.

2) Gehlers Physikalisches Wörterbuch IX. Band, II. Abtheilung pag. 929 u. 932.

In Betreff der Erklärung von Egen, dass die veränderte Sprödigkeit des Glases die Depressionen beeinflusse, oder gar hervorbringe, bemerkt er, dass die Sprödigkeit des Glases nahe an 0° ausnehmend wachse, also die Zusammenziehung der Thermometerkugeln wohl erst nahe über dem Gefrierpunct beginne. Wie wir später sehen werden, hat A. v. Oettingen diese Ansicht experimentell widerlegt, so dass von Egens Erklärung nur derjenige Theil übrig bleibt, der mit der von Despretz, allerdings klarer ausgesprochenen Regel im Grunde identisch ist.

Im Jahre 1840 hat Henrici nachgewiesen, dass die Depressionen nicht proportional den Temperaturen seien, sondern verhältnissmässig rascher wachsen, als die letzteren.¹⁾ Er scheint mit Erwärmungen auf 50° angefangen und bei 60° die erste Depression bemerkt zu haben. Bei 60° betrug die Depression $0^{\circ},1$, bei 100° $0^{\circ},6$.

Da Henrici keine Angaben, weder über die Zeit der Erwärmung, noch über die Zeit der Abkühlung gemacht hat, so beweisen seine Zahlen nur die Nichtproportionalität der Depressionen und der Temperaturen und constatiren überdiess, dass schon bei 60° die ersteren $0^{\circ},1$ C. erreichen können.

Aus seinen, im Jahre 1842 angestellten, zahlreichen Thermometervergleichen²⁾ zieht Pierre den Schluss, dass die Nullpuncte der Thermometer aus Krystallglas gleichfalls Depressionen erleiden, die eher grösser seien, als diejenigen, welche die Nullpuncte der Thermometer aus gewöhnlichem Glase erfahren. Die Depressionen findet er ganz unregelmässig, auch wenn die Thermometer in horizontaler Lage erwärmt werden. Da er jedoch keine Rücksicht auf die Dauer der Erwärmung und Abkühlung genommen hat, so beweisen seine vielen Zahlen nur, dass Quecksilberthermometer unter sich etwas besser übereinstimmen, wenn der deprimirte und nicht der nach längerer Ruhe bestimmte Nullpunct zur Berechnung der Temperaturen benutzt wird. Es geht ferner hervor, dass selbst bei gleicher Behandlung, trotz aller Sorgfalt bei der Ablesung der Temperaturen (Maxima), die Differenzen in den Angaben verschie-

1) Pogg. Ann. Bd. 50, pag. 251.

2) Annales de Chimie et de Physique III, Série Tome V, pag. 427. et. s. —

dener Thermometer $0^{\circ},1$ C. überschreiten können, wenn die bisher üblichen Berechnungsweisen angewandt werden.

Nach Angaben von Régnault¹⁾ zeigten Thermometer von Krystallglas aus der Hütte von Choisy-le-Roi nach Erwärmungen auf 100° nur Depressionen von $0^{\circ},05$ C., während Thermometer aus gewöhnlichem Glase solche von $0^{\circ},5$ C. erlitten. Régnault sagt jedoch selbst, dass auch Thermometer von Krystallglas aus Choisy-le-Roi, wenn der Behälter sogleich an den Stiel geblasen wurde, grosse Unregelmässigkeiten zeigten. Er pflegte solche Behälter zu cassiren und neue anzuschmelzen; dadurch erklären sich die viel geringeren Depressionen seiner Thermometer sehr einfach.

Nach Welsh²⁾ erlitten alle Normalthermometer, die in Kew untersucht wurden, durch eine Siedepunctsbestimmung eine mittlere Nullpunctsdepression von $0^{\circ},17$ F. Dieselbe variirte nur wenig bei verschiedenen Instrumenten. Welsh erklärt das Eintreten der Depressionen, wie Despretz, aus dem Umstande, dass das Glas, wenn es längere Zeit stark erwärmt werde, erst einige Wochen nach der Abkühlung sein ursprüngliches Volumen annehme. Das Steigen des Nullpunctes gewöhnlicher Thermometer schreibt er dem Verschwinden der Depression zu, welche bei der Anfertigung und Füllung des Thermometers eingetreten sei und warnt davor, die Bestimmung der Fixpuncte früher als 6 Monate nach der Anfertigung des Thermometers vorzunehmen.

Eine andere, im ersten Augenblicke sehr befremdende Beobachtung machte Welsh an 15 Thermometern, die er während 60 Stunden der Siedetemperatur des Wassers aussetzte. Bei allen hatte sich nach sehr langsamer Abkühlung der Nullpunct dauernd gehoben und zwar um $0^{\circ},3$ bis $0^{\circ},4$ F. Eine plötzliche Erwärmung erzeugte nach wie vor eine Depression des Nullpunctes um $0^{\circ},2$ F. Nach 24 Stunden war dann der Nullpunct wieder derselbe, wie nach dem langen Sieden. Die Thermometer scheinen neu gewesen zu sein. Welsh gibt keine Erklärung.

Meiner Ansicht nach, ist der Grund darin zu finden, dass nach den Untersuchungen von Kohlrausch³⁾ die elastischen Nachwirk-

1) Comptes rendus de l'Academie de Paris. Tome XX. Pogg. Ann. Bd. 65 pag. 362.

2) Report of the 23. Meeting of the British Association for the Advancement of Science held at Hull in September 1853. London 1854, II part, pag. 34.

3) Pogg. Ann. Band CXXVIII, pag. 1 etc.

ungen viel rascher bei höheren, als bei niedrigen Temperaturen eintreten. Bei neuen, luftleeren Thermometern bewirkt der äussere Luftdruck im Laufe der Zeit eine Contraction des Thermometergefässes. Dieselbe wird bei 100° grossentheils schon nach kurzer Zeit eintreten. Ueberdies verschwinden auch die allfällig noch von der Füllung herührenden Nachwirkungsdilatationen, bis auf den Betrag der Depression nach einer Erwärmung auf 100° , rascher bei einer Temperatur von 100° , als bei einer niedrigeren. Das dauernde Ansteigen des Nullpunctes ist hiedurch erklärt, es ist jedoch sehr schade, dass keine weiteren Untersuchungen über dieses interessante Verhalten vorliegen.¹⁾

Recknagel hat im Anhang zu seinen ausserordentlich sorgfältigen Vergleichen der Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer²⁾, auf die wir in einer späteren Arbeit noch speciell zurückzukommen gedenken, eine Zusammenstellung der Nullpuncts- und Siedepunctsbestimmungen gegeben, aus welcher hervorgeht, dass beim Thermometer I im 1. Jahre sowohl der Siedepunct, als auch der nach längerer Ruhe bestimmte Nullpunct sich um einen gleichen Betrag gehoben haben.

Es ist mir, aus den, bei Anlass der entsprechenden Beobachtungen von Wild, angegebenen Gründen, nicht zweifelhaft, dass in diesem Falle auch das Intervall zwischen dem maximal deprimirten Nullpunct und dem deprimirten Siedepuncte constant geblieben ist. Bei Thermometer II ergibt sich dies unmittelbar aus den Beobachtungen, während sich der nach längerer Ruhe bestimmte Nullpunct um $0^{\circ},2$ gehoben hat.

Es ist sehr zu bedauern, dass auch Recknagel versäumt hat, die Zeiten der Erwärmung und die Zeiten, welche zwischen den Siede-

1) Die Angaben von Person, (Comptes rendus, Tome XIX, p. 1314) nach welchen die Nullpuncte neuer Thermometer aus Krystallglas durch anhaltendes Erwärmen auf 440° respective um 12° , 15° und 17° stiegen, scheinen mir nicht ohne Weiteres mit den Beobachtungen von Welsh vergleichbar. Bei diesen hohen Temperaturen kann möglicherweise die molekulare Struktur des Glases total geändert werden, während dies nach Erwärmungen auf 100° nicht der Fall sein wird. Ich behalte mir vor, eingehende Untersuchungen über diesen Gegenstand anzustellen und hiezu alte Thermometer aus gewöhnlichem Glase zu benutzen, bei welchen die Nachwirkungen wohl schon vollständig eingetreten sind. Obschon Person selbst darauf aufmerksam macht, dass es interessant wäre, zu untersuchen, ob dieser erhöhte Nullpunct nun constant bleibe, so hat er es sonderbarerweise doch nicht gethan, obschon er eine Reihe von hiezu tauglichen Thermometern besass!

2) Thermometrische Versuche. (Auszug aus der Habilitationsschrift des Verfassers) Pogg. Ann. CXXIII, pag. 136.

punctsbestimmungen und den darauf folgenden Nullpunctsbestimmungen verflossen, zu notiren. Da bei seinen Thermometern die Nullpunctsdepressionen sehr rasch wieder verschwanden und bei 60° noch nicht merklich waren, so wären genaue Zeitangaben hier von ganz besonderer Wichtigkeit gewesen.

Aus den Beobachtungen am Thermometer I ergibt sich, in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Egen und Welsh, dass, nach den ersten Siedepunctsbestimmungen, der nach längerer Ruhe eintretende Nullpunct höher ist, als der entsprechende vor den Siedepunctsbestimmungen. Es wird dies wohl als eine Bestätigung meiner oben ausgesprochenen Ansicht betrachtet werden können, da das Thermometer I gleichfalls ziemlich neu war. Dass der deprimirte Nullpunct dagegen niedriger ausfiel, rührt wohl nur davon her, dass die ersten Nullpuncte nicht maximal deprimirt waren.

Recknagel bemerkt ganz richtig, dass es nicht rathsam sei, unmittelbar vor den Messungen eine Siedepunctsbestimmung vorzunehmen, dagegen werden wir sehen, dass wenn auch vor und nach den Messungen der Nullpunct dieselbe Lage hat, doch noch nicht jeder Zweifel über die Richtigkeit der Temperaturbestimmungen gehoben ist. Es kommt sehr darauf an, wie lange nach den Messungen die Nullpunctsbestimmung vorgenommen wurde, wie hoch die gemessenen Temperaturen waren, in welcher Reihenfolge die Messungen angestellt wurden, und welche Genauigkeit man erzielen will. Wir werden ferner zeigen, dass die Depressionen bei horizontal eintauchenden Thermometern denselben Gesetzen gehorchen, wie bei vertical eintauchenden. Die Depressionen sind im letzteren Falle nur wenig grösser. Es spielt also, entgegen der Ansicht von Recknagel, der Druck der Quecksilbersäule bei den Nachwirkungsdilatationen nur eine untergeordnete Rolle.

A. v. Oettingen¹⁾ gab eine sehr vollständige Zusammenstellung der früheren Arbeiten, wies dann nach, dass Depressionen eintreten, auch wenn die Thermometer nach den Erwärmungen nicht auf 0° , sondern auf Temperaturen von 16° und 34° abgekühlt werden. Ueberdies bestätigen die auf seine Veranlassung von Hrn. stud. Dercks angestellten Versuche die Thatsache, dass unter Umständen schon nach Erwärmungen auf 40° merkliche Depressionen eintreten können. Da jedoch auch bei diesen Versuchen auf die Zeit keine Rücksicht ge-

1) Ueber die Correctionen der Thermometer. Inaugural-Dissertation. Dorpat 1865.

nommen wurde, so konnten die Depressionen auch keine Regelmässigkeit zeigen. Dass dieselben rascher als proportional der Temperatur ansteigen, geht jedoch mit Sicherheit hervor.

Dass es A. v. Oettingen weder durch einen Druck von 3,4 Atmosphären, noch durch Abkühlen des Thermometers auf -19° gelang, die Nachwirkungsdilatationen rascher zum Verschwinden zu bringen, dies ist nicht schwierig zu erklären. Durch einen nicht sehr bedeutenden äusseren Druck, können bei gewöhnlicher Temperatur erst im Laufe längerer Zeit dauernde Contractionen hervorgerufen werden. Die Zeit von 24 Stunden ist bei einem Drucke von nur 3,4 Atmosphären zu kurz¹⁾. Eine Abkühlung auf -19° konnte, wie wir später sehen werden, den Nullpunct jenes Thermometers höchstens um $0^{\circ},02$ C. heben, überdies ist bei jener Temperatur die elastische Nachwirkung bedeutend geringer, als bei einer höheren Temperatur, so dass die Aufhebung der Depressionen nicht wohl rascher erfolgen konnte.

Was die Berechnung der Temperaturen anbelangt, so stimmt A. v. Oettingen Recknagel bei, dass für das Intervall von 0 bis 50° der nach langer Ruhe beobachtete Nullpunct zu benutzen sei. Pag. 71 spricht er dagegen die Ansicht aus, dass man sich der Wahrheit am meisten nähern werde, wenn man die M u n c k e'sche Annahme der Reduction zu Grunde lege, d. h. die Depressionen den Temperaturen proportional annehme, und die Nullpunctscorrectionen entsprechend verringere. Dass beides nicht ganz richtig ist, werden wir später nachweisen. A. v. Oettingen betont übrigens an einer anderen Stelle, dass er die Frage, wie die Depressionen bei den Nullpunctscorrectionen zu berücksichtigen seien, immer noch als eine offene betrachte.

Die Arbeiten von Wild²⁾ sind bereits in der Einleitung ausführlich besprochen worden. Es ist jedoch hier nachzutragen, dass Wild zuerst durch successive Siedepuncts- und Nullpunctsbestimmungen die

1) Versuche, welche ich nach dieser Richtung hin angestellt habe, und bei welchen ich Thermometer in einem Piezometer einem allseitigen Drucke von mehr als 11 Atmosphären aussetzte, ergaben nach 24 Stunden gleichfalls nur ein sehr wenig rascheres Ansteigen des Nullpunctes, als wenn die Thermometer nur dem Drucke einer Atmosphäre ausgesetzt gewesen wären. Da jedoch diese Thermometer nur eine Ablesung von höchstens $0^{\circ},05$ C. gestatteten, so betrachte ich diese Versuche noch nicht als abgeschlossen und werde dieselben mit eigens zu diesem Zwecke anzufertigenden Thermometern wiederholen.

2) Denkschriften der schweiz. naturf. Gesellschaft 1868. Repertorium für Meteorologie herausgegeben von der kais. Ak. d. Wissenschaften zu St. Petersburg, redigirt von H. Wild. Tome III, Nr. 1. pag. 106 ff. —

Constanz der maximal deprimirten Fixpuncte mit Sicherheit constatirte, während Egen dies nur für den Nullpunct wahrscheinlich gemacht hatte. Es war dadurch ein Fingerzeig gegeben, wie man bei der Bestimmung der Depressionen verfahren müsse.

Wild schreibt die allmälige Hebung des Siedepunctes und des Nullpunctes nur einer beständigen Compression des luftleeren Thermometergefässes durch den äusseren Luftdruck, in Folge elastischer Nachwirkung zu.

Was die Depressionen anbelangt, so ist Wild mit Recht nicht abgeneigt, ausser der elastischen Nachwirkung des veränderten Druckes, auch eine verzögerte Rückkehr des durch die Wärme ausgedehnten Glasgefässes zu seinem ursprünglichen Volumen, als Ursache anzunehmen. Wir haben schon oben bemerkt, dass die letztere Ursache die maassgebende ist, und dass die erstere nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Blicken wir zurück auf die Ergebnisse aller mir bekannten, einschlägigen Arbeiten, so geht aus denselben hervor, dass die Ursachen, welche eine Verschiebung der Null- und Siedepuncte bedingen, zahlreicher sind, als die verschiedenen Physiker annahmen. Giebt man dies zu, so sind die Widersprüche nur scheinbar.

Es ist alsdann selbstverständlich, dass Gesetze nicht gefunden werden können, bis die Ursachen auseinandergehalten, und ihre Einwirkungen gesondert studirt werden. Es wird dies allerdings viel Zeit, viel Geduld und grosse Sorgfalt erfordern. —

Als Resultat der obigen Kritik der bisherigen Untersuchungen glaube ich die folgenden Sätze ansehen zu können:

Das Steigen des Nullpunctes und des Siedepunctes wird hervorgebracht:

1) Durch das Verschwinden von Nachwirkungsdilatationen des Quecksilbergfässes, die von der Anfertigung und Füllung herrühren.¹⁾

2) In Folge einer allmäligen Contraction des Quecksilberreservoirs durch den äusseren Luftdruck.

Das Sinken des Nullpunctes und des Siedepunctes wird bedingt:

1) Die von der Füllung etc. herrührenden Nachwirkungsdilatationen bedingen ein geringeres Steigen des Siedepunctes, als des Nullpunctes, das um so geringer ausfällt, je später nach der Anfertigung die Bestimmung der Fixpuncte vorgenommen wird.

1) durch Nachwirkungsdilatationen, die nach Erwärmungen einzutreten pflegen.

2) durch Nachwirkungsdilatationen, die von dem inneren Drucke herrühren, den die Verlängerung der Quecksilbersäule hervorbringt.

2) Vorversuche und Nullpunctsbestimmungen.

Bei den ersten Versuchen wurden verschiedenartige, alte und neue Thermometer genau gemessene Zeiten hindurch auf bestimmte Temperaturen erwärmt und hierauf ihre Nullpuncte, nach erfolgter, rascher, aber nicht plötzlicher Abkühlung, wieder bestimmt. Aus ca. 300 Versuchen, die sämmtlich mit Thermometern aus gewöhnlichem Glase angestellt wurden, ergaben sich übereinstimmend folgende Thatsachen:

1) Die Depressionen sind in hohem Grade von der Zeitdauer der Erwärmung abhängig, so dass der Nullpunct anfangs ungemein rasch, dann immer langsamer sinkt, bis es schliesslich ganz allmählig gegen eine Grenze convergirt.

2) Schon wenige Minuten nach dem Abkühlen steigt der Nullpunct wieder, erst rasch, dann immer langsamer. Er erreicht jedoch meist erst im Laufe längerer Zeit wieder seinen früheren Stand.

3) Die Maximaldepressionen, nach lange andauernden Erwärmungen, sind nahezu dem Quadrate der Temperaturen proportional.

Dass diese Regelmässigkeit nicht schon früher aufgefunden wurde, ist wohl aus dem Umstande abzuleiten, dass bisher zu wenig Aufmerksamkeit auf den Eintritt der Minima der Nullpuncte verwendet wurde. Es treten solche stets bei den Abkühlungen auf 0° ein. Durch eine scharfe Beobachtung des niedrigsten Standes des Nullpunctes meines Normalthermometers, von Dr. H. Geissler in Bonn, gelang es mir nachzuweisen, dass schon eine mittlere Zimmertemperatur von 11° genügt, um eine messbare Depression des Nullpunctes von ca. $0^{\circ},005\text{ C.}$ hervorzubringen. Diese letztere fällt bei 20° schon ca. 3 mal so gross aus, es erzeugen daher sogar die Variationen der Zimmertemperatur messbare Oscillationen des Nullpunctes. Die Belege hiezu finden sich in hinreichender Zahl in den unten folgenden Zahlentabellen.

Sehr häufig wurde bei dem Normalthermometer nicht nur das Minimum beobachtet, sondern die Beobachtung fortgesetzt, bis der Nullpunct constant wurde. Alsdann war die Depression, die von der Zimmertemperatur herrührte, als aufgehoben zu betrachten. Den nicht mehr von der Zimmertemperatur beeinflussten Nullpunct werde ich in Zukunft, zur Unterscheidung von dem deprimirten, als zeitigen Nullpunct bezeichnen.

Um auf 0° zu erkalten, bedurfte das Thermometer 3 Minuten, nach weiteren 3 Minuten trat ziemlich regelmässig das Minimum des Nullpunctes ein, und bald darauf begann der Nullpunct wieder zu steigen. Die Zeit, die derselbe bedurfte, um einen constanten Stand zu erreichen, war verschieden und um so länger, je höher die Temperatur gewesen war, der das Thermometer ausgesetzt worden war.

Zur Bestimmung der Nullpuncte diente ein Halbcylinder aus Zinkblech von 8 Centimtr. Halbmesser und 72 Centimtr. Länge. Der eine Boden war mit Löchern versehen, so dass das Schmelzwasser frei abfliessen konnte. Die Einschlussthermometer wurden bis nahe an ihr oberes Ende in sehr fein geschabtes, reines Eis eingebettet, die Thermometer mit Metallscale wurden vollständig mit Eis umgeben. Nur während der Ablesung wurde das Thermometer in der Nähe seines Nullpunctes etwas vom Eise entblösst, und sofort nach geschehener Beobachtung wieder mit Eis bedeckt. Ueberdiess wurde das Gefäss zwischen den Ablesungen weggestellt, damit nicht etwa durch die Körperwärme Fehler bedingt würden. Es zeigte sich jedoch bald, dass bei meinem Normalthermometer diese Vorsichtmaassregeln noch nicht ausreichten, da mitunter ein offenbar etwas zu hoher Nullpunct beobachtet wurde. Dies war jedoch nicht mehr der Fall, als das Thermometer vor jeder Ablesung etwas tiefer in das Eis gesteckt wurde, so dass das Quecksilbergefass dicht mit frischem Eise umgeben war. Da das Wasser vollständig freien Abfluss hatte, so konnte das Steigen des Nullpunctes nicht von einem Durchziehen des Eises mit Wasser herrühren, und dies um so weniger, als dafür Sorge getragen wurde, dass das Quecksilberreservoir mindestens 15 Centimtr. vom Boden entfernt blieb, und dass auch die unterste Eisschicht nicht durchsichtig wurde. Ich kann mir daher nur denken, dass durch Wärmeleitung die dem Thermometer zunächst liegende Eisschicht weggeschmolzen wurde, das abfliessende Wasser in diesen Zwischenraum Luft nachsog, und

diese wohl noch nicht vollständig auf 0° abgekühlt war, wenn sie zu dem Quecksilbergefass gelangte. Wenn das Letztere nach mehrmaligen Beobachtungen nur noch wenig mehr als 15 Centimtr. vom Boden entfernt war, so wurde das Thermometer gehoben, und, wenn möglich, das Quecksilbergefass mit ganz frischem Eise umgeben. Auf diese Weise gelang es diese Unsicherheiten, die übrigens nur wenige Tausendstelgrade betrugen, vollständig zu beseitigen. Zum Belege hiefür theile ich beispielsweise die Nullpunctsbestimmung an meinem Normalthermometer mit, die am 19. Mai vor den Versuchen vorgenommen wurde. Vor den mit * bezeichneten Beobachtungen wurde das Thermometer tiefer in das Eis gestossen, vor denjenigen, die mit ** bezeichnet sind, wurde dasselbe mit ganz frischem Eise umgeben.

19. Mai 1875.

Abgelesene Zimmertemperatur $18^{\circ},7$. C.

Normalthermometer IV um $9^h,40'$ Vm. in's Eis gelegt.

Nr.	Zeit	Lage des Thermometers		Differenz
		vertical	horizontal	
1	$9^h,44'$	$0^{\circ},237$	$0^{\circ},275$	$0^{\circ},038$
2	45	237	275	038
3	48	243	280	037
4	50	245	280	035
5	51	245	280	035
6	54	245	285	040
7	59	247	283	036
8	$10^h,01$	247	285	038
9	4	245	283	038
10	7	247	285	038
* 11	10	245	280	035
** 12	12	245	280	035
* 13	14	245	280	035
* 14	16	247	280	033
* 15	20	247	285	038
* 16	26	245	280	035
* 17	31	247	283	036
* 18	35	250	283	033
* 19	38	247	280	033
* 20	40	250	285	035
* 21	42	250	285	035
* 22	45	250	285	035

Minimum des Nullpunctes:

$0^{\circ},237$

Zeitiger Nullpunct:

250

Depression für $18^{\circ},5$:

013

Da beim Umgeben des Thermometers mit frischem Eise die Eisschicht nicht stets dieselbe Dicke hat, so ändert sich dabei meist die mittlere Differenz zwischen den Ablesungen in horizontaler und verticaler Lage des Thermometers. Hierauf wurde bei der Reduction

der Ablesungen bei horizontaler Lage des Thermometers auf diejenigen in verticaler Stellung Rücksicht genommen.

3) Beschreibung der speciell untersuchten Thermometer und des Beobachtungsverfahrens.

Der Raumersparniss wegen, beschränke ich mich die Resultate mitzutheilen, welche die Untersuchung der folgenden Thermometer ergeben hat.

1) Normalthermometer II von Radau und Schlösser in Königsberg i/Pr. 11½ Jahre alt. Messingscala in 380 Millimtr. getheilt. 1 Millimtr. = $0^{\circ},44$ C. Quecksilbergefass cylindrisch. Etwas Parallaxe. Genauigkeit der Ablesung $\pm 0^{\circ},05 = \pm 0^{\circ},02$ C. Privateigenthum des Herrn Prof. Dorn.

2) Normalthermometer III von Prothmann und Carogatti in Königsberg i/Pr. 17 Jahre alt. Messingscala in 280 Millimtr. getheilt. 1 Millimtr. = $0^{\circ},44$ C. Quecksilbergefass eine Kugel. Etwas Parallaxe. Genauigkeit der Ablesung $\pm 0^{\circ},07 = \pm 0^{\circ},03$ C. Privateigenthum des Herrn Prof. Meyer.

3) Normalthermometer IV von Dr. Heinrich Geissler in Bonn. Einschlussthermometer mit cylindrischem Quecksilberreservoir. 5 Jahre alt. Von -39 bis $+59^{\circ}$ C. direct in Zehntelgrade getheilt. $0^{\circ},1$ C. = 0,52 Millimtr. Sehr wenig Parallaxe. Genauigkeit der Ablesung $\pm 0^{\circ},003$ C. Mein Privateigenthum.

4) Normalthermometer V von F. Geissler in Berlin. 10 Jahre alt. Einschlussthermometer mit cylindrischem Quecksilbergefass. Von -15° bis $+105^{\circ}$ direct in Zehntelgrade eingetheilt. Ziemlich starke Parallaxe. Genauigkeit der Ablesung $\pm 0^{\circ},01$ C. Eigenthum des physicalischen Cabinets zu Breslau.

5) Meteorologisches Thermometer VI von Dr. H. Geissler in Bonn. Ganz neu. Einschlussthermometer mit cylindrischem Quecksilberreservoir. Von -35 bis $+50^{\circ}$ C. direct in Fünftelgrade getheilt. Sehr wenig Parallaxe. Genauigkeit der Ablesung $\pm 0^{\circ},007$ C. Eigenthum des physikalischen Cabinets zu Breslau.

6) Meteorologisches Thermometer VII von Dr. H. Geissler in Bonn. Gegenstück zu Nr. VI, also ganz gleich und ebenfalls neu. Eigenthum des physikalischen Cabinets zu Breslau.

Dass bei dem Normalthermometer von Dr. H. Geissler in Bonn die Ablesungsfehler so gering waren, rührt einerseits von der Schärfe der Theilstriche her, und anderseits wohl auch daher, dass das Intervall

von $0^{\circ},1$ C. durch eine schwach vergrössernde Loupe besehen, eine scheinbare Grösse von 1 Millimtr. hatte. Durch mehrjährige Controllen und eigene Bearbeitungen der Aufzeichnungen der meteorologischen, selbstregistrirenden Instrumente von Wild, hatte ich mir im Laufe der Zeit eine ziemliche Sicherheit im Schätzen der Bruchtheile eines Millimeters erworben. Um ohne zeitraubende Einstellungen von Microscopen doch möglichst genaue Ablesungen zu erzielen, verfuhr ich beim Schätzen folgendermaassen.

Eine erste Ablesung an meinem Normalthermometer gab sofort die Hundertstelgrade. Hierauf wurde nochmals genau hingesehen, ob es beispielsweise genau 6, oder genau 7 Hundertstel seien, oder ob man eben so gut sich für 6, als für 7 entscheiden könne. War letzteres der Fall, so wurde 0,065 hingeschrieben, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass wirklich noch mehr als $\frac{1}{3}$ eines Zehntelgrades bis zum folgenden ganzen Zehntel fehle. Schien es mir dagegen, dass die Kuppe entschieden näher an $0^{\circ},06$, denn an $0^{\circ},07$ liege, so wurde $0^{\circ},063$ eingetragen. Es ist also jede im Beobachtungsjournal notirte Nullpunctsbestimmung das Resultat von mindestens 3 Ablesungen. Um auch die constanten Fehler zu verringern, las ich den Stand des Nullpunctes sowohl bei horizontaler, als verticaler Lage des Thermometers ab; die jeweilige mittlere Differenz zwischen beiden Ablesungen wurde alsdann zur Reduction der Ablesungen bei horizontaler Lage des Thermometers auf diejenigen bei verticaler Stellung benutzt. Ich glaube daher die Nullpunctsbestimmungen des Normalthermometers IV bis auf $\pm 0^{\circ},003$ verbürgen zu können.

Ganz analog wurde bei den anderen Thermometern verfahren.

Um zu vermeiden, dass durch eine Erwärmung der Scalen eine Fehlerquelle entstehe, wurden stets nur die Quecksilbergefasse der Thermometer in das Wasser getaucht, sowohl bei horizontaler, als auch bei verticaler Stellung der Thermometer. Nur so war man sicher, dass das Nullpunctsminimum einzig und allein von der Nachwirkungsdilatation des Quecksilbergefässes herrühre.

Die Thermometergefässe wurden genau gemessene Zeiten hindurch erwärmt. Bei kurzer Zeitdauer wurde die Temperatur alle halben Minuten abgelesen, bei Zeitdauern über 10 Minuten, meist alle Minuten. Bei einigen der lange anhaltenden Erwärmungen wurde die Temperatur anfangs alle Minuten beobachtet, bis es mit Hilfe eines Gasdruck-

regulators und eines Wärmeregulators gelang, die Temperatur innerhalb der Bruchtheile eines Grades constant zu erhalten. Alsdann wurde nur alle Viertelstunden eine Controllablesung gemacht. Zur Berechnung der mittleren Temperatur wurden die Beobachtungen durch Interpolation ergänzt. Wenn die Temperatur nur um wenige Zehntelgrade schwankte, so wurden zur Berechnung des Mittels die Temperaturangaben nach je 5 Minuten benutzt; schwankte die Temperatur stärker, so wurde das Mittel aus den Angaben nach je 2 Minuten berechnet. Bevor ich es erzielte, einen im Principe mit dem Bunsen'schen Regulator übereinstimmenden Wärmeregulator anzufertigen und durch ein Amylalkoholthermometer empfindlich genug zu machen, beobachtete ich die Temperatur ununterbrochen. Dasselbe geschah der Sicherheit halber auch bei den Temperaturen über 65° . Es sind daher die Mittelwerthe der Temperaturen bei den einzelnen Versuchen hinreichend genau bestimmt.

Ueber das Beobachtungsverfahren habe ich nur noch mitzutheilen, dass die Thermometer niemals plötzlich, weder abgekühlt, noch erwärmt wurden. War der Nullpunct bestimmt, so wurde durch Anfassen mit der Hand das Quecksilbergefass erst auf 30° , hierauf durch Befeuchten mit Wasser von einer höheren Temperatur noch mehr erwärmt und dann erst in das Wasser eingetaucht. Umgekehrt wurde nach dem Herausnehmen das Thermometergefass mit einem warmen Tuche abgetrocknet, hierauf mit einem kälteren, feuchten Tuche unter die Lufttemperatur abgekühlt und dann erst in das Eis eingesenkt. Dies alles ging in wenigen Minuten vor sich, so dass ein rasches Erwärmen und Abkühlen erfolgte, doch niemals ein plötzliches, wodurch Unregelmässigkeiten hätten entstehen können.

Lag das Thermometer im Eise, so wurde der Eintritt des Minimums abgewartet. Bei den Zwischenversuchen genügte es mir oft wenn ein paar auf einander folgende Beobachtungen identisch ausfielen, um nicht durch ein Erhöhen des Nullpunctes den Eintritt der Maximaldepression zu verzögern; bei den Schlussversuchen wurde aber stets gewartet, bis der Nullpunct wieder entschieden gestiegen war.

4) Beobachtungen.

In den folgenden Tafeln sind die Beobachtungen an den oben beschriebenen Thermometern übersichtlich zusammengestellt. Bei den

Thermometern II und III, mit arbiträren Scalen, sind die bei den Erwärmungen abgelesenen Scalentheile in Grade verwandelt und corrigirt. Alle übrigen Daten sind directe, uncorrigirte Ablesungen.

In der ersten Columne ist das Datum und die Zeit des Anfangs des ersten und letzten Versuches angegeben; die zweite Columne enthält die laufende Nr. des Versuches, auf welche ich mich bei den Berechnungen beziehen werde; in der dritten Columne ist die Zeitdauer der Erwärmung mitgetheilt. Die mittlere Temperatur des Wasserbades, resp. die Zimmertemperatur ist in der vierten Columne angegeben. In der fünften Columne steht das beobachtete Minimum des Nullpunctes. Wurde zu Anfang der Versuchsreihen auch der Eintritt des zeitigen Nullpunctes abgewartet, so ist der Stand desselben ebenfalls aufgenommen. Da alsdann die Nummer des Versuches dieselbe bleibt, und als mittlere Temperatur 0° angegeben ist, so kann dadurch kein Zweifel entstehen, welcher Nullpunct gemeint ist.

Damit die Oscillationen des Nullpunctes genauer verfolgt werden können, sind auch einige Versuchsreihen aufgenommen, die in Folge mangelnden Eises, oder zu weit vorgeschrittener, physischer und geistiger Ermüdung vorzeitig abgebrochen werden mussten und daher bei der Berechnung der Depressionen nicht verwerthet werden konnten. Dieselben sind aber dadurch interessant, dass sie einen Vergleich gestatten, welchen Verlauf die Depressionen bei derselben Temperatur anfänglich in unabhängigen Versuchsreihen nehmen.

Normalthermometer II.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},05 = \pm 0^{\circ},02$.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
M a i.							
4 ^h 23 Nm.	21.	427	hor.	—	21 ^o ,5	109 ^o ,37	—
	„	428	vert.	4 ^h 5'	30 1	109 37	0
	„	429	„	10'	31 6	109 37	0
	„	430	„	20'	31 8	109 33	— 0 ^o ,04
5 ^h 59	„	431	„	45'	31 5	109 33	0
	23.	445	hor.	—	22 ^o	109 ^o ,40	+ 0 ^o ,07
J u n i.							
12 ^h 43 Mittg.	18.	645	hor.	—	22 ^o ,0	109 ^o ,25	— 0 ^o ,15
	„	646	vert.	3 ^h 30'	49 3	109 05	— 0 20
	„	647	„	4 ^h 20'	50 3	109 00	— 0 05

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
Juni.							
10h 30 Ab.	18	648	vert.	3h 55	50°, 2	108°,98	— 0°,02
	24.	678	hor.	—	24°,3	109°,37	+ 0°,39
Juli.							
7h Ab.	26.	698	hor.	—	20°, 3	109°,35	— 0°,02
	"	699	vert.	10'	64 4	109 00	— 0 35
	"	700	"	30'	65 0	108 84	— 0 16
	"	701	"	2h 17'	65 4	108 84	0
0h 15 Vm.	27.	702	"	1h 13'	65 25	108 84	0
7h 23 Ab.	27.	703	hor.	— 10'	20°, 1 0	109°,03 109 10	+ 0°,19 + 0 07
7h 34 Ab.	29.	721	hor.	—	21°, 2	109°,07	— 0°,03
	"	722	vert.	1h 16'	0	109 15	+ 0 08
	"	723	"	5'	80 0	108 66	— 0 49
	"	724	"	15'	80 7	108 57	— 0 09
	"	725	"	30'	80 7	108 55	— 0 02
0h 30' Vm.	30.	726	"	1h 15	79 9	108 55	0
2h 15 Vm.	30.	726	"	7h 35	82 0	108 53	— 0 02
10h Ab.	30.	738	hor.	—	22°, 0	108°,73	+ 0°,20
1h 42 Vm.	31.	739	vert.	10'	99 7	108 33	— 0 40
	"	740	"	1h 14	99 7	108 18 ¹⁾	— 0 15
4h 0m Vm.	"	741	"	5h 55	99 7	108 30 ²⁾	+ 0 12
6h Nm.	31.	742	hor.	8h	0°	108°,45	+ 0°,15
10h Ab.	31.	747	hor.	14h	0°	108°,50	+ 0°,05

1) 7 Minuten nach dem Herausnehmen aus dem Dampfe.

2) 30 Minuten nach dem Herausnehmen aus dem Dampfe. Es ist also der deprimierte Nullpunct in 23 Minuten um 0°,12 = 0°,05 C. gestiegen.

Normalthermometer III.

Ablesungsfehler $\pm 0°,07 = \pm 0°,03$.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
März.							
9h Vm.	19.	37	hor.	—	15°	56°,85	—
			2h	0	56 90		+ 0°,05
Juni.							
8h 20 Vm.	7.	519	hor.	—	19°,2	56°,85	— 0°,05
9h 04 Vm.	8.	548	hor.	—	20°,6	56°,85	0°,00

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation
Juni.						
12h Mittg.	8.	—	vert. 12'	0	56°,90	+ 0°,05
	"	549	" 5'	35	56 83	— 0 07
	"	550	" 5'	34 8	56 80	— 0 03
	"	551	" 6'	34 7	56 77	— 0 03
	"	552	" 27'	34 8	56 76	— 0 01
	"	553	" 58'	35 1	56 77	+ 0 01
4h 19 Nm.	"	554	" 4h 10'	34 7	56 77	0
12h 4 Nm.	9.	555	hor. —	21°,7	56°,87	+ 0°,10
4h Nm.	12.	561	hor. —	22°,0	56°,87	0
11h 44 Vm.	17.	621	hor. —	23°,1	56°,85	— 0°,02
"	"	622	vert. 35'	45 2	56 77	— 0 08
1h 29 Nm.	"	623	" 2h 40'	45 0	56 77	0
4h 07 Ab.	"	624	" 2h 40'	45 0	56 75	— 0°,02
Juli.						
5h 52 Ab.	26.	691	hor. —	20°,6	56°,83	+ 0°,06
"	"	692	vert. 8'	64 8	56 72	— 0 11
"	"	693	" 25'	64 3	56 68	— 0 04
"	"	694	" 48'	64 2	56 70	+ 0 02
"	"	695	" 1h	64 1	56 63	— 0 07
"	"	696	" 2h 30'	64 3	56 57	— 0 06
0h 15 Vm.	27.	697	" 1h 25'	64 4	56 57	0
5h 45 Nm.	27.	704	hor. 16h	20°,5	56°,63	+ 0°,06
"	"	—	vert. 1h	0	56 65	+ 0 02
10h 24 Vm.	28.	707	hor. —	18°,8	56°,65	0
"	"	"	2h 20m	0	56 70	+ 0°,05
7h 13 Ab.	29.	716	hor. —	21°,2	56°,65	— 0°,05
"	"	717	vert. 5'	79 8	56 55	— 0 10
"	"	718	" 4'	79 7	56 35	— 0 20
0h 33 Vm.	30.	719	" 1h 30'	79 7	56 35	0
2h 18 Vm.	"	720	" 7h 30'	81 6	56 30	— 0 05
10h Ab.	30.	734	hor. —	21°	56°,33	+ 0°,03
"	"	"	1h	0	56 38	+ 0 05
11h 22 Ab.	30.	735	vert. 10'	99°,7	56°,25	— 0 13
"	31.	736	" 35'	99 7	56 05 ¹⁾	— 0 20
"	"	737a	" 1h 30'	99 7	56 10	+ 0 05
3h 13 Vm.	"	737b	" 6h 40'	99 7	56 00	— 0 10
9h 55 Ab.	31.	743	vert. 12h	0°	56°,15	+ 0°,15

1) Hier sind die Ablesungen bei verticaler Stellung des Thermometers mitgetheilt, während in der Tabelle in der Einleitung diejenigen bei horizontaler Lage angegeben sind, da Herr Prof. Meyer den Nullpunct bei dieser letzteren Stellung bestimmt hatte.

Normalthermometer IV.

Ablesefehler $\pm 0^{\circ},003$ C.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
April.							
20.	295	hor.	—	12°, 2	0°, 222	—	
	—	vert.	2h 40'	0	0 , 227	+ 0°, 005	
22.	299	hor.	—	13°, 2	0°, 225	— 0°, 002	
	—	vert.	6h 45'	0	0 , 234	+ 0 009	
23.	307	hor.	—	12°, 2	0°, 228	— 0°, 006	
	—	vert.	30'	0	0 , 234	+ 0 006	
25.	323	hor.	—	11°, 0	0°, 234	0	
	—	vert.	20'	0	0 , 240	+ 0°, 006	
26.	327	hor.	—	11°, 2	0°, 235	— 0°, 005	
"	—	vert.	12'	0	0 240	+ 0 005	
1h 42 Nm.	"	328	hor.	2h	11°, 2	0°, 235	— 0°, 005
	"	—	vert.	7'	0	0 240	+ 0 005
	"	329	hor.	3'	26 2	0 220	— 0 020
	"	330	"	5'	26 2	0 219	— 0 001
	"	331	"	5'	26 3	0 217	— 0 002
	"	332	"	10'	26 2	0 217	0
	"	333	"	16'	26 2	0 216	— 0 001
	"	334	"	30'	26 2	0 210	— 0 006
5h Ab.	"	335	"	34'	26 2	0 210	0
9h 44 Vm.	27.	337	hor.	—	11°, 2	0°, 235	+ 0°, 025
	"	—	vert.	15'	0	0 240	+ 0 005
	"	338	hor.	6' 30"	26 2	0 224	— 0 016
10h 28 Vm.	"	339	"	2h 20	25 8	0 210	— 0 014
	29.	344	hor.	—	13°, 2	0°, 235	+ 0°, 025
	"	—	vert.	10'	0	0 240	+ 0 005
2h 19 Nm.	30.	345	hor.	—	15°, 5	0°, 233	— 0°, 007
	"	—	vert.	45'	0	0 245	+ 0 012
	"	346	"	3'	26 2	0 225	— 0 020
	"	347	"	13'	26 2	0 222	— 0 003
	"	348	"	27'	26 2	0 215	— 0 007
	"	349	"	34'	26 2	0 215	0
5h 10 Ab.	"	350	"	30'	26 3	0 210	— 0 005
Mai.							
6.	351	hor.	—	16°, 2	0°, 233	+ 0°, 023	
12h 30 Nm.	"	—	vert.	15'	0	0 245	+ 0 012

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation		
Mai	6.	352	hor.	3' 30''	30°, 9	0°, 228	— 0°, 017	
	"	353	"	5' 30''	30 8	0 222	— 0 006	
	"	354	"	8' 30''	30 9	0 220	— 0 002	
	"	355	"	10'	30 9	0 220	0	
	"	356	"	20'	30 9	0 215	— 0°, 005	
	"	357	"	30'	30 9	0 212	— 0 003	
	"	358	"	1h	30 9	0 210	— 0 002	
	"	359	"	1h 30'	30 9	0 205	— 0 005	
	7h 15 Ab.	"	360	"	30'	31 0	0 205	0
	7.	367	hor.	—	19°, 5	0°, 231	+ 0°, 026	
8.	369	hor.	—	18°, 1	0°, 230	— 0°, 001		
"	—	vert.	30'	0	0 245	+ 0 015		
9.	370	hor.	—	17°, 4	0°, 235	— 0°, 010		
"	—	vert.	1h 50'	0	0 250	+ 0 015		
10.	372	hor.	—	20°, 4	0°, 231	— 0°, 019		
"	—	vert.	3h	0	0 250	+ 0 019		
9h 44 Vm.	19.	373	hor.	—	18°, 5	0°, 237	— 0°, 013	
	"	—	vert.	1h	0	0 250	+ 0 013	
	"	374	"	2' 30''	30 8	0 230	— 0 020	
	"	375	"	3'	30 8	0 226	— 0 004	
	"	376	"	5'	30 8	0 220	— 0 006	
	"	377	"	6'	30 8	0 218	— 0 002	
	"	378	"	6'	30 9	0 216	— 0 002	
	"	379	"	8'	30 9	0 216	0	
	0h 2 Mittg.	"	380	"	10'	30 9	0 215	— 0°, 001
	"	381	"	10'	30 9	0 213	— 0 002	
"	383	"	40'	30 9	0 210	— 0 003		
"	384	"	20'	30 9	0 209	— 0 001		
"	385	"	20'	30 8	0 207	— 0 002		
"	386	"	30'	31 0	0 210	+ 0 003		
"	387	"	40'	31 0	0 210	0		
6h 37 Ab.	"	388	"	40'	30 7	0 205	— 0°, 005	
"	389	"	1h	30 8	0 205	0		
2h 25 Nm.	20.	397	hor.	—	17°, 5	0°, 237	+ 0°, 032	
	"	—	vert.	40'	0	0 250	+ 0 013	
	"	398	hor.	3'	36 8	0 226	— 0 024	
	"	399	"	5'	36 2	0 223	— 0 003	
	"	400	"	5'	36 1	0 219	— 0 004	
	"	401	"	8'	35 9	0 215	— 0 004	
	"	402	"	15'	35 9	0 213	— 0 002	
	"	403	"	24'	36 2	0 210	— 0 003	
	"	404	"	20'	36 2	0 207	— 0 003	

Datum		Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation
Mai.							
7h 22 Ab.	20.	405	hor.	40'	36°, 1	0°,204	— 0°,003
	"	406	"	40'	36 1	0 203	— 0 001
	"	407	"	50'	36 0	0 200	— 0 003
	21.	414	vert.	—	13°, 2	0°,235	+ 0°,035
	"		"	30'	0	0 240	+ 0 005
	22.	432	vert.	—	13°, 2	0°,237	— 0°,003
	"		"	1h	0	0 243	+ 0 006
	23.	434	hor.	—	20°, 2	0°,233	— 0°,010
	"	—	vert.	1h	0	0 245	+ 0 012
1h Nm.	"	435	"	2' 30"	36 3	0 230	— 0 015
	"	436	"	4' 30"	36 2	0 225	— 0 005
	"	437	"	8'	36 3	0 217	— 0 008
	"	438	"	22'	36 1	0 210	— 0 007
	"	439	"	19'	36 0	0 210	0
	"	440	"	25'	36 1	0 210	0
	"	441	"	30'	36 1	0 206	— 0°,004
	"	442	"	45'	36 2	0 204	— 0 002
	6h 2 Ab.	443	"	1h 48'	36 3	0 203	— 0 001
6h 30 Vm.	25.	456	hor.	—	14°, 0	0°,215	—
	"	—	vert.	1h 07'	0	0 220	+ 0°,005
	"	457	hor.	2' 30"	55 5	0 175	— 0 045
	"	458	"	5'	56 0	0 170	— 0 005
	"	459	"	13'	55 5	0 160	— 0 010
	"	460	"	10'	55 6	0 155	— 0 005
	"	461	"	20'	55 5	0 153	— 0 002
	"	462	"	13'	55 8	0 153	0
	"	463	"	30'	55 8	0 144	— 0°,009
0h 32 Mittg.	"	464	"	1h 25'	55 3	0 143	— 0 001
	"	465	"	3h	55 9	0 126	— 0 017
	"	466	"	3h 10'	55 5	0 117	— 0 009
	"	467	"	58'	55 9	0 115	— 0 002
	"	468	"	1h	55 3	0 115	0
	9h 43 Ab.	469	"	1h 6'	56 2	0 115	0
Juni.							
6h 58 Vm.	6.	503	hor.	—	21°, 1	0°,207	+ 0°,092
	"	504	vert.	2'30"	43 1	0 180	— 0 027
	"	505	"	3'	44 0	0 174	— 0 006
	"	506	"	6'	44 0	0 167	— 0 007
	"	507	"	15'	44 2	0 157	— 0 010
	"	508	"	21'	44 1	0 155	— 0 002
	"	509	"	20'	44 0	0 154	— 0 001
	"	510	"	36'	43 7	0 153	— 0 001
	"	511	"	15'	44 2	0 154	+ 0 001
0h 36 Mittg.	"	512	"	45'	43 8	0 153	— 0 001
	"	513	"	1h 25'	43 9	0 153	0
	"	514	"	1h 25'	44 1	0 151	— 0 002
	"	515	"	1h 30'	43 8	0 152	+ 0 001

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation
Juni.						
6h 37 Ab.	6.	516	vert. 1h 10'	44°, 0	0°, 147	— 0 005
	„	517	„ 1h 25'	44 3	0 147	0
7h 36 Vm.	7.	518	hor. —	19°, 4	0°, 180	+ 0°, 033
	„	533	„ 12h 30'	22 4	0 185	+ 0 005
8h 40 Vm.	8.	534	„ 11h 30'	20 6	0 193	+ 0 008
10h 45 Vm.	9.	557	hor. —	21°, 7	0°, 206	+ 0°, 013
11h 21 Vm.	11.	562	hor. —	22°, 0	0°, 207	+ 0°, 001
	„	563	„ 2'30"	36 6	0 190	— 0 017
	„	564	„ 5'	36 4	0 187	— 0 003
	„	565	„ 8'	36 1	0 181	— 0 006
5h 53 Ab.	„	566	hor. 45'	22°, 0	0°, 203	+ 0°, 022
8h 33 Vm.	12.	576	hor. —	22°, 2	0°, 207	+ 0°, 004
	„	577	vert. 3'	36 0	0 190	— 0 017
	„	578	„ 5'	36 3	0 189	— 0 001
	„	579	„ 11'	36 3	0 185	— 0 004
0h 18 Mittg.	„	580	„ 15'	36 5	0 183	— 0 002
	„	581	„ 50'	36 4	0 175	— 0 008
1h 44 Nm.	„	582	„ 56'	36 5	0 170	— 0 005
	13.	583	hor. —	22°, 7	0°, 200	+ 0°, 030
8h 4 Vm.	16.	584	hor. —	22°, 8	0°, 210	+ 0°, 010
	„	585	„ 5'	43 4	0 198	— 0 012
	„	586	„ 7'30"	43 5	0 190	— 0 008
	„	587	„ 6'	43 6	0 185	— 0 005
	„	588	„ 5'	43 6	0 180	— 0 005
	„	589	„ 17'	43 3	0 173	— 0 007
	„	590	„ 20'	43 2	0 173	0
	„	591	„ 1h 15'	43 2	0 173	0
0h 31 Mittg.	„	592	„ 1h 16'	43 9	0 168	— 0 005
	„	593	„ 3h 3'	43 5	0 167	— 0 001
	„	594	„ 2h 57'	43 7	0 167	0
8h Ab.	„	595	vert. 2h	44°, 1	0°, 147	— 0°, 020
8h 40 Vm.	18.	627	hor. —	21°, 5	0°, 195	+ 0°, 048
	„	628	„ 2'30"	50 2	0 175	— 0 020
	„	629	„ 5'	50 1	0 167	— 0 008
	„	630	„ 1h 20'	50 0	0 153	— 0 014
0h 24 Mittg.	„	631	„ 4h 40'	49 4	0 135	— 0 018
	„	632	„ 4h 40'	50 4	0 134	— 0 001
10h 30 Ab.	„	633	„ 4h 25'	50 3	0 134	0

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
Juni.	22.	649	hor.	—	21°,3	0°,195	+ 0°,061
	23.	658	„	—	23 2	0 197	+ 0 002
9h 20 Vm.	24.	659	hor.	—	23°,9	0°,195	— 0°,002
	„	660	vert.	3'	50 3	0 170	— 0 025
	„	661	„	5'	50 1	0 160	— 0 010
	„	662	„	10'	50 3	0 154	— 0 006
	„	663	„	20'	50 2	0 147	— 0 007
10h 53 Vm.	„	664	„	5h	51 0	0 135	— 0 008
	„	665	„	4h 5'	50 8	0 120	— 0 015
	„	666	„	2h	50 9	0 130	+ 0 010
10h 40 Ab.	24.	667	„	10h 10'	50 2	0 125	— 0 005
						0	
						0	
	29.	679	hor.	—	21°,7	0°,193	+ 0°,068
			vert.	3h	0	0 210	+ 0 017
Juli.							
	1.	680	hor.	—	26°,1	0°,187	— 0° 023
			vert.	2h	0	0 205	+ 0 '018
	3.	681	hor.	—	24°,1	0°,203	— 0°,002
	9.	682	hor.	—	24°,0	0°,205	+ 0°,002
				0	0 224	+ 0 019	

Normalthermometer V.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},01$ C.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
M a i.	6.	361	hor.	—	16°,4	0°,670	—
			vert.	18'	0	0 680	+ 0°,010
	7.	368	hor.	—	19°,9	0°,660	— 0°,020
		vert.	20'	0	0 670	+ 0 010	
9.	371	hor.	—	18°,4	0°,673	+ 0°,003	
		vert.	15'	0	0 685	+ 0 012	
0h 30 Mittg.	21.	415	vert.	—	12°,0	0°,675	— 0°,010
	„	416	„	2'30"	32 0	0 670	— 0 005
	„	417	„	3'30"	32 0	0 667	— 0 003
	„	418	„	5'	31 8	0 667	0
	„	419	„	7'30"	32 1	0 660	— 0°,007
	„	420	„	20'	31 8	0 657	— 0 003
	„	421	„	20'	32 0	0 655	— 0 002
	„	422	„	50'	32 0	0 655	0
	„	423	„	70'	32 0	0 643	— 0°,012
	„	424	„	1h 31'	32 1	0 635	— 0 008

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation
Mai.						
6h 56 Ab.	21.	425	vert. 1h	32°,1	0°,635	0
	22.	433	hor. —	0	0°,670	+ 0°,035
	23.	444	hor. —	22°,0	0°,670	0
			vert. 0	0	0 685	+ 0°,015
	26.	471	hor. —	20°,1	0°,690	+ 0°,005
	28.	476	hor. —	17°,5	0°,690	0
2h 10 Nm.	"	477	vert. 8'	32 3	0 685	+ 0° 010
	"	478	" 3'	32 1	0 675	— 0 010
	"	479	" 4'30"	32 1	0 673	— 0 002
	"	480	" 7'30"	32 1	0 670	— 0 003
	"	481	" 20'	32 2	0 667	— 0 003
	"	482	" 20'	32 0	0 666	— 0 001
	"	483	" 35'	32 1	0 661	— 0 005
	"	484	" 1h 10'	32 2	0 660	— 0 001
	"	485	" 52'	32 0	0 653	— 0 007
6h 55 Ab.	"	486	" 33'	32 0	0 653	0
Juni.						
	8.	535	hor. —	21°,3	0°,695	+ 0°,042
	11.	567	hor. —	0	0°,700	+ 0°,005
	12.	568	vert. —	0	0°,700	0
8h 53 Vm.	"	569	hor. 12'	36°,4	0 685	— 0°,015
	"	570	" 9'	36 6	0 673	— 0 012
	"	571	" 14'	36 3	0 670	— 0 003
	"	572	" 50'	36 5	0 665	— 0 005
	"	573	" 32'	36 4	0 660	— 0 005
	"	574	" 1h 36'	36 9	0 650	— 0 010
1h 29 Nm.	"	575	" 6h 23'	36 5	0 637	— 0 013
	16.	596	hor. —	22°,8	0°,695	+ 0°,058
8h 26 Vm.	"	597	vert. 3'	43 4	0 680	— 0 015
	"	598	" 14'	43 4	0 655	— 0 025
	"	599	" 14'	43 6	0 640	— 0 015
	"	600	" 10'	43 3	0 640	0
	"	601	" 30'	43 6	0 630	— 0°,010
	"	602	" 1h 14'	43 6	0 615	— 0 015
0h 32 Mittg.	"	603	" 53'	44 3	0 605	— 0 010
	"	604	" 2h 52'	43 3	0 605	0
	"	605	" 1h 53'	43 7	0 590	— 0°,015
7h 48 Ab.	"	606	" 2h 20'	44 4	0 590	0
	18.	634	hor. —	0	0°,665	+ 0°,075
8h 50 Vm.	"	635	vert. 2'30"	50°,6	0 625	— 0 040

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
Juni.							
	18.	636	vert.	5'	50°,4	0°,610	— 0°,015
	"	637	"	1h 20'	50 5	0 565	— 0 045
0h 24 Nm.	"	638	"	4h 40'	49 8	0 550	— 0 015
5h 23 Ab.	"	639	"	4h 40'	50 6	0 535	— 0 015
	22.	650	hor.	—	21 1	0 675	+ 0 140
9h 49 Vm.	24.	670	hor.	—	23°,9	0°,685	+ 0°,010
4h 27 Nm.	"	671	hor.	—	26°,4	0°,675	— 0°,010
	"	672	"	6'	50 4	0 535	— 0 040
	"	673	vert.	1h 10	51 2	0 580	— 0 055
	"	674	"	2h 12	51 4	0 560	— 0 020
	"	675	"	12h 16	51 0	0 545	— 0 015
8h 33 Ab.	25.	676	"	9h 30	50 8	0 645	0
Juli.							
	26.	683	hor.	—	20 7	0 695	+ 0°,050
	"	684	"	5'	65°,0	0°,655	— 0 040
	"	685	"	10'	65 1	0 595	— 0 060
	"	686	"	7h	64 8 ¹⁾	0 467	— 0 128
	"	687	"	1h 30	65 0	0 467	0
	"	688	"	1h 30	65 0	0 465	— 0 002
	"	689	"	2h 30	65 0	0 465	0
0h 15 Vm.	27.	690	vert.	1h	65 0	0 465	0
	27.	705	hor.	—	21°,2	0°,565	+ 0°,100
				2h 30'	0	0 587	+ 0 022
	28.	706	hor.	—	19°,5	0°,600	+ 0°,013
				2h 40'	0	0 610	+ 0 010
	29.	708	hor.	—	18°,5	0°,610	+ 0
	"			1h	0	0 620	+ 0°,010
3h 49 Nm.	"	709	hor.	5'	80 5	0 405	— 0 215
	"	710	"	25'	80 1	0 367	— 0 038
	"	711	"	1h	80 6	0 353	— 0 014
	"	712	"	6h 10'	80 2	0 353	0
6h 30 Vm.	30.	713	vert.	1h	80 3	0 353	0
	"	714	"	45'	80 4	0 353	0
2h 45 Vm.	"	715	vert.	7h 10'	81°,7	0°,348	— 0°,005
				7h	0	0 397	+ 0 049
5h 48 Ab.	30.	727	hor.	10'	100°,3	0°,275 ²⁾	— 0°,122

1) Von 10 bis 11 h stieg die Temperatur während meiner Abwesenheit auf 69°,1. Trotzdem ich die Temperatur bis auf 64° sinken liess und so schliesslich dieselbe Mitteltemperatur erzielte, hob sich der Nullpunkt nicht mehr.

2) 6 Minuten nach Herausnehmen aus dem Dampfe wurde das Thermometer in's Eis gelegt.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
Juni.							
8h 58 Vm.	17.	608	hor.	2'	45°,6	0°,135	— 0°,035
	"	609	"	5'	45 2	0 117	— 0 018
9h 34 Vm.	"	610	vert.	2h	0	0 150	+ 0 033
11h 37 Vm.	"	611	hor.	1h	45°,3	0 097	— 0 053
	"	612	"	3h 50	45 1	0 077	— 0 020
4h 07 Ab.	"	613	"	2h 50	45 3	0 070	— 0 007
	18.	626	hor.	—	23°,3	0°,135	+ 0°,065
	22.	652	hor.	—	21°,4	0°,178	+ 0°,043
	23.	653	hor.	—	24°,4	0°,177	— 0°,001
2h 52 Nm.	"	654	"	4h	50 7	0 110	— 0 067
	"	655	"	3h 30'	52 1	0 046	— 0 064
	"	656	"	3h 30'	51 2	0 033	— 0 013
11h 08 Ab.	"	657	"	8h 52'	50 3	0 050	+ 0 017

Thermometer VII.

Ablesungsfehler $\pm 0°,007$ C.

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation
M a i.						
27.	474	hor.	—	19°,5 0	0°,170 0 190	+ 0°,020
28.	495	hor.	—	17°,5 0	0°,175 0 190	— 0°,015 + 0 015
J u n i.						
4.	499	hor.	—	22°,8	0°,172	— 0°,018
7.	528	hor.	—	22°,2 0	0°,167 0 193	— 0°,015 + 0 026
5h 16'	529	vert.	4'	30 1	0 167	— 0 026
"	530	"	5'	30 2	0 160	— 0 007
"	531	"	11'	30 3	0 145	— 0 015
6h 36 Ab.	532	"	2h 20'	30 1	0 140	— 0 005
8.	542	hor.	—	20°,6	0°,170	+ 0°,030
10h 8 Vm.	543	vert.	3'30"	40 3	0 135	— 0 035
"	544	"	5'	40 2	0 120	— 0 015
"	545	"	3h 40'	39 9	0 100	— 0 020
6h 50 Nm.	646	"	1h 42'	40 2	0 100	0

Datum	Nr.	Lage	Zeit	m. Temp.	Nullpunct	Variation	
Juni.							
	9.	558	hor.	—	21°,7	0°,137	+ 0°,037
	10.	559	hor.	—	22°,0	0°,150	+ 0°,013
	17.	614	hor.	—	23 3	0°,180	+ 0°,030
8h 58 Vm.	„	615	vert.	2'30"	45 3	0 135	— 0 045
	„	616	„	5'	45 2	0 115	— 0 020
	„	617	„	2h 03'	0	0°,170	+ 0°,055
	„	618	„	1h	45°,1	0°,097	— 0°,073
	„	619	„	3h 50'	45 1	0 080	— 0 017
4h 37 Nm.	„	620	„	2h 50'	45 1	0 075	— 0 005
	18.	625	hor.	—	23°,3	0°,145	+ 0°,070
	22.	651	hor.	—	21°,4	0°,176	+ 0°,031
	24.	—	hor.	—	24°,4	0°,176	0°,00
12h 05 Nm.	„	668	vert.	17h	50 9	0 060	— 0 116
4h 20 Ab.	„	669	„	4h	50 3	0 070	+ 0 010

5) Methode der Berechnung der Depressionen und der zeitigen Nullpunctscorrectionen.

Die Beobachtungen an dem Normalthermometer IV übertreffen alle übrigen bedeutend an Genauigkeit. Sie sind daher vorzugsweise geeignet die Frage zu entscheiden, wie die Depressionen überhaupt berechnet werden sollen.

Vorerst ergibt eine Vergleichung der Beobachtungen, die bei nahezu denselben Temperaturen am 20. und 23. Mai (Nr. 397—443 der Tafel auf pag. 30) und am 11. und 12. Juni (Nr. 562—582 pag. 31) angestellt wurden, dass bei mässigen Erwärmungen der Stand des deprimirten Nullpunctes von demjenigen des zeitigen Nullpunctes abhängt. Im Mai ging das Sinken des Nullpunctes, nachdem derselbe den Stand 0°,207 erreicht hatte, nur noch äusserst langsam von Statten und betrug nur wenige Tausendstelgrade pro Stunde. Im Juni dagegen, als der Nullpunct durch vor-

hergegangene Erwärmungen stark deprimirt worden war und erst allmählig wieder den Stand von $0^{\circ},207$ erreicht hatte, trat bei der Erwärmung auf 36° ein rasches Sinken ein. Es hatte also, durch eine mehrtägige Ruhe, das Quecksilbergefass ein bestimmtes Volumen erlangt, welches sich verhielt, als wenn es nur eine, der Zimmertemperatur entsprechende Nachwirkungsdilatation erlitten hätte. Es folgt daraus, dass der Unterschied zwischen dem zeitigen und dem, durch eine unmittelbar folgende Erwärmung deprimirten Nullpuncte als die Depression aufzufassen ist, welche der betreffenden Erwärmung zur Zeit entspricht.

Ist eine Regelmässigkeit in Bezug auf die Abhängigkeit der Depressionen von den Temperaturen vorhanden, so muss sich dieselbe am reinsten zeigen, wenn wir die von den Zimmertemperaturen herrührenden Depressionen mit denjenigen vergleichen, welche die zeitigen Nullpuncte durch die unmittelbar folgenden Erwärmungen erlitten haben.

Am 26. April war z. B. der zeitige Nullpunct bei $0^{\circ},240$ (vergl. Nr. 327 der Tabelle auf pag. 28). Die Depression welche die Zimmertemperatur von 11° erzeugt hatte, betrug nach zweimaligen, übereinstimmenden Messungen $0^{\circ},005$. Der zeitige Nullpunct war nach der Erwärmung auf 26° um $0^{\circ},030$ gesunken. Während sich also die Temperaturen verhalten wie $1 : 2,45$, stehen die Depressionen in dem Verhältnisse wie $1 : 6$, sind also proportional dem Quadrate der Temperaturen.

Berechnen wir hienach aus der grösseren Depression die kleinere, so ergeben sich für diejenigen vollständigen Versuchsreihen, bei denen zu Anfang der Eintritt des zeitigen Nullpunctes abgewartet wurde, die folgenden Resultate:

Normalthermometer IV.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},003$ C.

Horizontale Lage.

Datum		Nummer	m.Zim.-Temp.	beob. Depress.	ber. Depress.	Differenz
April	23	327	11°	$0^{\circ},005$	$0^{\circ},005$	0
"	"	328	11°	0 005	0 005	0
"	27	337	11°	0 005	0 005	0
"	30	345	15°	0 012	0 012	0
Mai	6	351	16°	0 012	0 011	$+ 0^{\circ},001$
"	19	373	18°	0 013	0 015	$- 0^{\circ},002$
"	20	397	17°	0 013	0 011	$+ 0^{\circ},002$
"	23	434	20°	0 012	0 014	$- 0^{\circ},002$
"	25	456	14°	0 005	0 006	$- 0^{\circ},001$

Die Uebereinstimmung ist also viel grösser, als man erwarten konnte. Die Differenz zwischen der berechneten und der wirklich beobachteten Depression ist stets geringer als der mögliche Ablesungsfehler.

Die Erwärmungen stiegen von 26° bis 56° C. Für Temperaturen zwischen 0 und 56° ist daher die Proportionalität der Depressionen mit dem Quadrate der Temperatur für das Normalthermometer IV bereits als nachgewiesen zu betrachten. Da das Thermometer stets liegend aufbewahrt wurde, so gilt dieses Gesetz zunächst für die horizontale Lage, für welche gerade eine Regelmässigkeit bisher nachdrücklichst geleugnet wurde.

Viermal war das Thermometer in verticaler Stellung erwärmt worden; dennoch konnte aus der beobachteten Depression diejenige genau abgeleitet werden, welche der Nullpunct bei horizontaler Lage des Thermometers in Folge der Zimmertemperatur erlitten hatte. Es geht daraus hervor, dass der Druck der Quecksilbersäule bei den Depressionen jedenfalls nur eine untergeordnete Rolle spielen kann. Auf diesen Punct werden wir unten noch speciell zurückkommen.

Da die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Depressionen höchstens $0^{\circ},002$ betragen, so können die letzteren bis auf diese Grenze als richtig angesehen werden. Der absolute Werth derselben steigt für Temperaturen von 11° bis 20° respective von $0^{\circ},005$ auf $0^{\circ},013$. Es bedingen somit schon die Variationen der Zimmertemperatur messbare Oscillationen des Nullpunctes.

Von diesen gewonnenen Resultaten machen wir eine erste Anwendung bei der Berechnung des zeitigen Nullpunctes. Um Zeit zu sparen, musste ich mich nämlich öfters damit begnügen, am Normalthermometer IV nur die Minima des Nullpunctes zu beobachten, da der zeitige Nullpunct, wenn die Zimmertemperaturen über 18° betrugen, erst nach $1\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden eintrat. Ueberdies stösst die genaue Bestimmung des zeitigen Nullpunctes, wie wir gesehen haben, auf Schwierigkeiten, während der Eintritt des Minimums rasch und scharf beobachtet werden kann und nur während circa 10 Minuten eine gespannte Aufmerksamkeit erfordert.

Für jene Tage, an welchen der Eintritt der zeitigen Nullpuncte nicht abgewartet wurde, müssen wir dieselben aus den beobachteten Minima ableiten. Hiebei ist eine grössere Genauigkeit erforderlich. Wir dürfen uns desshalb nicht damit begnügen, an den, bei den Erwärmungen abgelesenen Temperaturen bloss die Nullpunctscorrectionen anzubringen, sondern wir müssen auch die Correctionen berücksichtigen, die von dem Nichteintauchen des Quecksilberfadens und von der fehlerhaften Markirung des Siedepunctes herrühren.

Da wir jedoch bei 50° noch einen Fehler von $\pm 0^{\circ},3$ bei der Temperaturbestimmung begehen können, ohne dass dadurch bei dem untersuchten Normalthermometer IV die Depression um $0^{\circ},001$ C. sich ändert, so genügt es zur Reduction der Angaben desselben, die von Regnault angegebene angenähert richtige Correctionsformel anzuwenden:

$$\Delta L' = \frac{T' L'}{6500}$$

wenn L' die Länge des herausragenden Quecksilberfadens und T' die Differenz zwischen der Temperatur der Umgebung und derjenigen des Wasserbades bedeutet.

In Betreff der Berechnung der Temperaturen aus den Ablesungen am Normalthermometer V bemerke ich gleich an dieser Stelle, dass es für jenes Thermometer möglich war, aus den Siedepunctsbestimmungen bei vollständig eintauchender und bei vollständig ausserhalb befindlicher Scala die Constante ϵ der von Mousson¹⁾ abgeleiteten, genaueren Correctionsformel zu bestimmen. Die letztere lautet:

$$\Delta T' = T' (\alpha N_1 - \epsilon)$$

wo T' die abgelesene Temperatur, α , je nach der Glassorte, 0,00016052 bis 0,00015489, N_1 die Länge des aus dem Wasserbade herausragenden Quecksilberfadens (in Graden) und ϵ eine von der Individualität des Thermometers abhängige Constante bedeutet. Es wurde daher für dieses Thermometer zur Reduction der Ablesungen auf wahre Temperaturen auch diese genauere Formel benutzt.

Bei der Berechnung der mittleren Temperatur einer ganzen Versuchsreihe muss überdies noch Rücksicht auf die verschiedene Zeitdauer der einzelnen Erwärmungen genommen werden.

1) Pogg. Ann. 133. pag. 311.

Alle diese Umstände sind bei Berechnung der Mittelwerthe berücksichtigt worden.

Wie nun fehlende, zeitige Nullpuncte aus den beobachteten Minima für das Normalthermometer IV abgeleitet wurden, ergibt sich aus den folgendem Beispiele.

Am 25. Mai war der Stand des Nullpunctes bei einer Zimmer-temperatur von $13^{\circ},8$ C. : $0^{\circ},215$. Nach den Erwärmungen, die 12 Stunden lang fortgesetzt wurden, war der Nullpunct auf $0^{\circ},115$ herabgesunken und constant geworden. Die mittlere corrigirte Temperatur des Wasserbades während der ganzen Versuchsreihe betrug 56° .

Die wahre Depression ist demnach:

$$\frac{56^{\circ},1 (0^{\circ},215 - 0^{\circ},115)}{56^{\circ},1 - 13^{\circ},8} = 0^{\circ},106 \text{ C.}$$

und der zeitige Nullpunct: $0^{\circ},115 + 0^{\circ},106 = 0^{\circ},221$ C. An jenem Tage war derselbe abgewartet und $= 0^{\circ},220$ gefunden worden. Die Differenz beträgt demnach nur $0^{\circ},001$ C.

6) Vergleichung der berechneten und beobachteten Depressionen.

Nach allen diesen Vorarbeiten können wir nun an die Beantwortung der Frage gehen, ob das für mein Normalthermometer IV aufgefundene Gesetz auf das Intervall von 0 bis 100° ausgedehnt werden dürfe und auch bei anderen Thermometern Anwendung finde. Zugleich ist zu untersuchen, ob aus einem einzigen, durch Erwärmungen auf 50° oder 100° maximal deprimirten Nullpuncte und aus den zeitigen Nullpuncten die für beliebige Temperaturen eintretenden Maximaldepressionen voraus berechnet werden können.

Für die Thermometer II, III und V, welche bis 100° reichen, wählen wir aus den in der Einleitung mitgetheilten Gründen den durch mehrmalige Siedepunctsbestimmungen maximal deprimirten Nullpunct zum Ausgangspuncte. Da die Thermometer IV, VI und VII nur wenig über 50° erwärmt werden können, so benutzen wir bei diesen den nach Erwärmungen auf 50° maximal deprimirten Nullpunct.

Die Berechnung der Depressionen geschieht nun folgendermaassen:

Zuerst ist der zeitige Nullpunct abzuleiten, falls derselbe nicht beobachtet wurde. Bei den Thermometern II, III, VI und VII war

dies meist der Fall, da das Minimum leicht zu constatiren, der zeitige Nullpunct dagegen nur unsicher zu bestimmen war.

Von diesem zeitigen Nullpuncte ist der für 50, resp. 100° maximal deprimirte abzuziehen und wir erhalten dann die Depression, die zur Zeit einer Temperatur von 50 resp. 100° entsprechen würde. Dieselbe ist nun mit dem Quadrate der Erwärmungstemperatur zu multipliciren und durch das Quadrat der gewählten Normaltemperatur zu dividiren. Die so erhaltene Zahl ist die berechnete, von dem zeitigen Nullpuncte abzuziehende Depression.

Die beobachtete, entsprechende Depression dagegen, ist die Differenz zwischen dem, nach der Erwärmung beobachteten, maximal deprimirten Nullpunct und dem zeitigen Nullpuncte unmittelbar vor der Versuchsreihe.

In den folgenden Tabellen sind die beobachteten und die berechneten Depressionen einander gegenübergestellt, nach steigenden Temperaturen geordnet und alle nothwendigen Data übersichtlich zusammengefasst.

Normalthermometer II.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},05 = 0^{\circ},022$ C.

Für 100° maximal deprimirter Nullpunct: 108°,18.

Lage vertical.

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	n. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Juli	27	703	109°,10	20°,1	0°,03	0°,02	+ 0°,01
"	29	721	109°,15	21°,2	0°,03	0°,02	+ 0°,01
Mai	21	427—431	109°,46	31°,6	0°,05	0°,05	0
Juli	18/19	645—648	109°,32	50°,2	0°,15	0°,13	+ 0°,02
Juli	26/27	698—703	109°,41	65°,2	0°,25	0°,23	+ 0°,02
Juli	29/30	721—726	109°,15	82°,7	0°,27	0°,30	— 0°,03

Es ist also, bei dem nur in verticaler Lage untersuchbaren Thermometer II, die Abweichung zwischen der beobachteten und der berechneten Depression nur einmal etwas grösser, sonst stets kleiner als der mögliche Ablesungsfehler. Die Uebereinstimmung der berechneten Depressionen mit den wirklich beobachteten ist daher eine befriedigende.

Bei diesem Thermometer sind demnach, bei verticaler Stellung desselben, die Depressionen dem Quadrate der Temperatur proportional. Wir können daher, aus dem für 100° maximal deprimirten

und aus dem zeitigen Nullpuncte die Depressionen, also auch die deprimirten Nullpuncte berechnen.

Interessant ist ferner die hier noch anzuführende Thatsache, dass bei diesem Thermometer die Maximaldepressionen, (ausser bei 50°) bei 3 maligem Abkühlen, schon nach einer Stunde eingetreten sind. Nach den pag. 26 mitgetheilten Beobachtungsreihen vermochte bei 80° , eine die ganze Nacht hindurch fortgesetzte Erwärmung den Nullpunct nur noch um $0^{\circ},01$ zu erniedrigen, und dies ist zum Theil noch auf Rechnung der etwas höheren Temperatur der letzten Versuchsreihe zu setzen. Wird dagegen das Thermometer anfangs nicht herausgenommen, so treten die Depressionen langsamer ein, wie aus dem Verhalten bei 50° hervorgeht.

Es findet demnach eine Analogie statt, zwischen dem Einfluss, welchen abwechselnde Abkühlungen und Erwärmungen auf das Eintreten von Nachwirkungsdilatationen ausüben und der Wirkung mechanischer Erschütterungen auf den Verlauf der durch Biegung und Torsion erzeugten Nachwirkungen. Sowohl die raschen Temperaturänderungen, als auch die mechanischen Erschütterungen, beschleunigen den Eintritt der Nachwirkungen.

Normalthermometer III.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},07 = 0^{\circ},03$ C.

Für 100° maximal deprimirter Nullpunct $= 56^{\circ},00$.

Lage vertical.

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Juli	28	707	$56^{\circ},70$	$18^{\circ},8$	$0^{\circ},02$	$0^{\circ},01$	$+ 0^{\circ},01$
Juni	8	548	$56^{\circ} 90$	$20^{\circ},6$	$0^{\circ},02$	$0^{\circ},02$	0
"	"	549—554	$56^{\circ} 90$	$34^{\circ},9$	$0^{\circ},06$	$0^{\circ},05$	$+ 0^{\circ},01$
Juli	17	621—624	$56^{\circ} 88$	$45^{\circ},2$	$0^{\circ},06$	$0^{\circ},08$	$- 0^{\circ},02$
"	26/27	691—697	$56^{\circ} 85$	$64^{\circ},9$	0 11	$0^{\circ},12$	$- 0^{\circ},01$
"	29/30	716—720	$56^{\circ} 68$	$81^{\circ},1$	0 17	$0^{\circ},19$	$- 0^{\circ},02$

Bei diesem Thermometer ist durch die obige Tafel gleichfalls die Proportionalität der Depressionen mit dem Quadrate der Temperaturen für die verticale Stellung bestätigt. Es bedarf jedoch einer mehr als 5 Stunden andauernden Erwärmung, damit die Maximaldepressionen eintreten, wenn das Thermometer nicht oftmals herausgenommen und abgekühlt wird.

Normalthermometer IV.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},003$ C.

Horizontale Lage.

(Für $50^{\circ},3$ maximal deprimirter Nullpunct $0^{\circ},134$.)

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
April	25	323	0°,240	10°,8	0°,006	0°,005	+ 0°,001
"	26	327	0 240	11 0	0 005	0 005	0
"	26	328	0 240	11 0	0 005	0 005	0
"	27	337	0 240	11 0	0 005	0 005	0
"	17	263	0 220	12 0	0 005	0 005	0
"	20	295	0 222	12 0	0 005	0 005	0
"	23	307	0 228	12 0	0 006	0 006	0
"	22	299	0 234	13 0	0 009	0 007	+ 0 002
Mai	21	414	0 243	13 0	0 005	0 007	- 0 002
"	22	432	0 243	13 0	0 006	0 007	- 0 001
"	25	456	0 220	13 8	0 005	0 006	- 0 001
April	30	345	0 240	15 3	0 012	0 010	+ 0 002
Mai	6	351	0 245	16 0	0 012	0 010	+ 0 002
"	9	370	0 250	17 2	0 015	0 013	+ 0 002
"	20	397	0 250	17 3	0 013	0 013	0
"	8	369	0 245	17 9	0 015	0 014	+ 0 001
"	19	373	0 250	18 3	0 013	0 015	- 0 002
"	23	434	0 250	20 0	0 012	0 017	- 0 005
Juni	29	679	0 210	21 5	0 017	0 014	+ 0 003
Juli	9	682	0 224	23 8	0 021	0 020	+ 0 001
April	27	337—339	0 240	25 7	0 030	0 028	+ 0 002
Juli	1	680	0 205	25 9	0 018	0 019	- 0 001
April	26	327—335	0 240	26 1	0 030	0 029	+ 0 001
Mai	6	351—360	0 245	30 8	0 040	0 042	- 0 002
"	20	397—407	0 250	36 1	0 050	1)	
					0 057	0 060	- 0 003
Juni	16	584—594	0 217	43 6	0 060	2)	
					0 064	0 069	- 0 005
"	18	627—632	0 208	50 3	0 074	—	—
Mai	25	456—469	0 220	56 1	0 105	0 107	- 0 002

Die Abweichung der berechneten Depressionen gegenüber den direct beobachteten beträgt im Mittel nur $\pm 0^{\circ},0015$ C. Die Uebereinstimmung ist daher grösser, als man erwarten konnte.

Alle, für das Intervall von 0 bis 56° berechneten Depressionen sind aus der Beobachtungsreihe vom 18. Juni abgeleitet. Da der Nullpunct bei jenen Versuchen in den vorletzten 5 Stunden nur noch um $0^{\circ},001$ und in den letzten $4\frac{1}{2}$ Stunden gar nicht mehr sank, so kann die Beobachtungsreihe als vollständig zu Ende geführt betrachtet werden. Dieselbe nahm jedoch 18 Stunden in Anspruch! Es ergibt

1) Die Beobachtungsreihe konnte nicht ganz zu Ende geführt werden. Nach der aufgezeichneten Curve wäre der Nullpunct noch wenigstens um $0^{\circ},007$ gesunken.

2) Die aufgezeichnete Curve ergab, dass der Nullpunct noch mindestens um $0^{\circ},004$ gefallen wäre, wenn die Beobachtungsreihe hätte ganz bis zum Schlusse durchgeführt werden können.

sich daraus, wie nothwendig es sein wird, den Einfluss der Zeit auf die Grösse der Depressionen zu bestimmen, um die letzteren für eine beliebige Zeitdauer der Erwärmung berechnen zu können. Meiner Ansicht nach, bieten diese Beobachtungen noch kein hinreichend geeignetes Material, weil die Abkühlungen, denen das Thermometer von Zeit zu Zeit durch die Nullpunctsbestimmungen ausgesetzt war, besonders zu Anfang der Versuchsreihen beschleunigend wirkten. Soviel geht jedoch schon aus diesen Untersuchungen hervor, dass, wenn wir nach den bisherigen Erfahrungen die Maximal-Depressionen auch nur bis auf $\pm 0,01$ C. genau erhalten wollen, die Zeitdauer der Erwärmung für das Intervall von 0 bis 56° bei dem Normalthermometer IV mindestens 5 Stunden betragen muss.

Um den Einfluss der Zeit genau kennen zu lernen, wird das Thermometer zu verschiedenen Malen, ungleiche Zeiten, derselben Temperatur angesetzt werden müssen. Es kann jeweilen die Beobachtungsreihe erst dann für die betreffende Temperatur fortgesetzt werden, wann der Nullpunct seinen früheren, nicht deprimirten Stand erreicht hat. Es wird daher diese Untersuchung sehr viel Zeit in Anspruch nehmen und eine ganz besondere Sorgfalt verlangen.

Für die Depressionen, welche bei verticaler Stellung des Thermometers erfolgten, erhalten wir folgende Resultate:

Normalthermometer IV.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},003$ C.

Verticale Stellung.

(Für $50^{\circ},8$ maximal deprimirter Nullpunct $0^{\circ},125$.)

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
April	30	345—350	$0^{\circ},245$	$26^{\circ},0$	$0^{\circ},035$	$0^{\circ},031$	$+ 0,004$
Mai	19	374—389	$0^{\circ},250$	$31^{\circ},0$	$0^{\circ},046$	$0^{\circ},045$	$+ 0,001$
Juni	6/7	503—517	$0^{\circ},224$	$44^{\circ},1$	$0^{\circ},077$	$0^{\circ},076$	$+ 0,001$
"	24/25	659—667	$0^{\circ},215$	$50^{\circ},8$	$0^{\circ},100$	—	—

Von 30° ab stimmen auch hier die beobachteten Depressionen mit den berechneten vollständig überein.

Um einen Vergleich anstellen zu können, wie sich die Depressionen, bei verticaler Stellung des Thermometers, gegenüber denjenigen verhalten, die für dieselben Temperaturen bei horizontaler Lage des

Thermometers beobachtet wurden, ist eine kleine Reduction der ersteren nothwendig. Vorerst müssen dieselben auf den Werth reduziert werden, den sie erlangt haben würden, wenn der zeitige Nullpunct identisch gewesen wäre mit dem entsprechenden, bei horizontaler Lage des Thermometers. Der Reductionsfactor wird erhalten durch Division der Differenz zwischen dem maximal deprimirten und dem zeitigen Nullpuncte bei verticaler Stellung, in die Differenz zwischen demselben maximal deprimirten Nullpuncte und dem bei horizontaler Lage des Thermometers beobachteten zeitigen Nullpuncte.

Hierauf ist die erhaltene Depression noch in dem Verhältnisse zu reduzieren, in welchem die Quadrate der beobachteten Temperaturen stehen.

Nach Ausführung dieser Rechnungen erhalten wir die folgenden Werthe.

Zeitiger Nullpunct	mittl. Temperat.	Depressionen		Differenz	Druck der Quecksilber- säule
		Th. horizontal	Th. vertical		
0°,240	26°,1 C.	0°,030	0°,034	— 0°,004	1
0 245	30 8	0 040	0 044	— 0 004	1,1
0 217	43 6	0 064	0 070	— 0 006	1,3
0 203	50 3	0 074	0 088	— 0 014	1,4

Es stellt sich somit ganz deutlich ein schwacher Einfluss des Druckes der Quecksilbersäule heraus, welcher in rascherem Verhältniss steigt, als die Drucke.

Die Differenzen für die Temperaturen von 30° und 50° verdienen die meiste Glaubwürdigkeit, weil sowohl bei verticaler, als bei horizontaler Lage des Thermometers die Beobachtungsreihen vollständig zu Ende geführt wurden. Für diese ergibt sich, dass auch die durch den Druck erzeugten Depressionen proportional sind dem Quadrate der Temperatur. Denn berechnen wir aus der bei 50° beobachteten Depression diejenige für 30°,8, so erhalten wir unter der Annahme dass:

$$\Delta = C \cdot p \cdot t^2$$

wo C eine Constante, die von der Individualität des Thermometers abhängt, p den jeweiligen Druck und t die entsprechende Temperatur bedeutet:

$$\Delta = 0,004,$$

also genau die wirklich beobachtete Depression.

Es wäre verfrüht, auf diese Beobachtung allein gestützt, den Satz aussprechen zu wollen, dass die Depressionen um eine solche, von

dem Quadrate der Temperatur abhängige Grösse 2. Ordnung zunehmen. Es erklärt diese Vermuthung jedoch die Thatsache, dass bis 43° die Depressionen sowohl für die verticale, als auch für die horizontale Lage dasselbe Gesetz befolgen, dass dagegen in dem Intervall von 43° bis 100° , für die verticale Stellung des Normalthermometers V, die Rechnung durchweg etwas zu kleine Werthe ergibt.

Normalthermometer V.

In Folge von starker Parallaxe und dicken Theilstrichen, ist die Genauigkeitsgrenze, bis zu welcher eine einzelne Ablesung am Normalthermometer V als zuverlässig betrachtet werden kann, nur $\pm 0^\circ,01$ C. Ueberdies tritt noch der Umstand hinzu, dass bei diesem Thermometer sowohl der Eintritt, als auch das Verschwinden der Depressionen sehr rasch zu geschehen pflegt. Es wird hiedurch nicht nur die Messung der von Zimmertemperaturen herrührenden Depressionen, sondern ganz besonders auch diejenige der durch Erwärmungen hervorgerufenen Maximaldepressionen sehr erschwert.

Aber auch für die Rechnung bieten sich Schwierigkeiten dar, weil es kaum rathsam erscheint, die Mitteltemperatur einer langen Beobachtungsreihe zur Berechnung der Maximaldepression zu benutzen, wenn die Temperatur während der letzten Versuche niedriger, oder aber während eines Versuches erheblich höher gewesen war, als die Mitteltemperatur. In der That zeigte eine bei 65° angestellte Versuchsreihe, bei welcher die Temperatur in meiner Abwesenheit beim dritten Versuche auf $68^\circ,6$ C. gestiegen war, dass hernach durch weiteres Erwärmen während $5\frac{1}{2}$ Stunden, in horizontaler Lage, der Nullpunct nicht weiter deprimirt werden konnte. Ebenso wenig bewirkte eine folgende Erwärmung von einer Stunde, bei verticaler Stellung des Thermometers, ein weiteres Sinken des Nullpunctes. Es hatte also, nachdem die Maximaldepression für 65° schon nahezu eingetreten war, eine 20 Minuten anhaltende Erwärmung auf 68° genügt, um die Maximaldepression für diese Temperatur hervorgerufen. Die beobachtete Depression stimmt mit der für diese Temperatur berechneten Depression bis auf die Grenze der Beobachtungsfehler überein, während dagegen die für die Mitteltemperatur der ganzen Beobachtungsreihe berechnete Depression um $0^\circ,032$ zu klein ausgefallen ist.

In den unten folgenden Tabellen, sind solche unrichtige, berechnete Depressionen, des Vergleiches wegen, dennoch aufgenommen und mit einem * bezeichnet worden. Hierauf sind diejenigen beigelegt,

welche der Mitteltemperatur desjenigen Versuches entsprechen, bei welchem die Maximaltemperatur eingetreten ist. Schliesslich sind auch noch die Depressionen angegeben, welche den in der Nähe des Maximums, während 20 Minuten bis einer Stunde eingetretenen Temperaturen entsprechen. Diese letzteren Depressionen haben die grösste Wahrscheinlichkeit für sich und zeigen auch die geringste Abweichung von den beobachteten Depressionen.

Da bei den Siedepunctbestimmungen der Einfluss der Zeit, welche zwischen dem Herausnehmen des Thermometers aus der Cavendish'schen Röhre und dem Einlegen in das Eis verfloss, auf den Betrag der Depression den maassgebenden Einfluss ausübte, so war es gerathen zur Berechnung der Depressionen, sowohl für die horizontale, als verticale Lage, den niedrigsten, beobachteten Nullpunct zu wählen, weil dieser dem wahren, maximal deprimirten Nullpuncte am nächsten kommen wird.

Normalthermometer V.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},01$ C.

Für 100° maximal deprimirter Nullpunct $0^{\circ},23$.

Lage horizontal.

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Mai	6	361	0 ⁰ ,680	15 ⁰ ,7	0 ⁰ ,010	0 ⁰ ,011	— 0 ⁰ ,001
"	28	476	0 700	16 8	0 010	0 013	— 0 003
"	9	371	0 685	17 7	0 012	0 014	— 0 002
Juli	28	706	0 610	18 9	0 010	0 014	— 0 004
Mai	7	368	0 670	19 2	0 010	0 016	— 0 006
"	20	408	0 690	19 8	0 010	0 018	— 0 008
Juli	27	705	0 587	20 6	0 022	0 015	+ 0 007
Mai	23	444	0 685	21 3	0 015	0 020	— 0 005
"	21	415—425	0 680	31 4	0 045	0 044	+ 0 001
Juni	12	568—575	0 700	35 9	0 063	0 061	+ 0 002
Juli	26	683—689	0 709	65 2	0 244	0 204*	+ 0 040*
"	26	686	0 709	68 6	0 242	0 224	+ 0 018
"	29	708—712	0 620	80 4	0 267	0 252*	+ 0 015*
"	29	711	0 620	81 0	0 267	0 262	+ 0 005

Für 100° maximal deprimirter Nullpunct $0^{\circ},23$.

Lage vertical.

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Mai	6	362—366	0°,680	30°,2	0°,035	0°,041	— 0°,006
"	28	477—486	0 700	31 5	0 047	0 047	0
"	20	409—413	0 690	35 8	0 056	0 059	— 0 003
Juni	16	597—606	0 695	43 4	0 105	0 088*	+ 0 017*
"	16	597—604	0 695	43 2	0 090	0 087	+ 0 003

Datum		Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Juni	16	605	0 695	44 9	0 105	0 094	+ 0 011
"	18	635—639	0 665	49 7	0 130	0 108*	+ 0 022*
"	18	635—638	0 665	49 4	0 115	0 106	+ 0 009
"	18	639	0 665	50 5	0 130	0 111	+ 0 019
"	24	672—676	0 685	50 5	0 140	0 116*	+ 0 024*
"	24	672—674	0 685	50 8	0 125	0 117	+ 0 008
Juli	26/27	684—690	0 709	65 2	0 244	0 204*	+ 0 040*
"	29/30	709—715	0 620	80 6	0 272	0 253*	+ 0 019*
"	29/30	715	0 620	81 9	0 272	0 262	+ 0 010
"	29/30	715	0 620	82 4	0 272	0 265	+ 0 007

Wenn wir die mit einem * bezeichneten Werthe der berechneten Depressionen, aus den oben angeführten Gründen mit vollem Rechte, von der fernerer Discussion ausschliessen, so ist für die horizontale Lage die Uebereinstimmung auch bei Temperaturen über 50° eine vollständig zufriedenstellende. Die Differenzen gehen nicht über die möglichen Beobachtungsfehler hinaus. Dass die beobachteten Depressionen etwas grösser sind, als die berechneten, rührt wohl hauptsächlich davon her, dass oftmals die Temperatur, wenn auch nur wenige Zehntelgrade, über den mittleren Werth stieg und eine entsprechend grössere Depression verursachte. Dagegen scheint für die verticale Stellung eine über die Beobachtungsfehler hinausgehende Tendenz zu grösseren, als den berechneten Depressionen vorzuwiegen. Es steht dies im Einklange mit der für das Normalthermometer IV begründeten Vermuthung, dass bei der verticalen Stellung noch ein Glied 2. Ordnung die Depressionen vergrössert, welches von dem jeweiligen Drucke und dem Quadrate der Temperaturen abzuhängen scheint. Leider gestattet die Natur beider Thermometer IV und V es nicht, diesen Punct genauer zu erfolgen. Ich werde daher auf diese Frage zurückkommen, sobald ich im Besitze eines genauen, bei Dr. H. Geissler in Bonn, eigens für diesen Zweck bestellten Normalthermometers gelangt sein werde.

Dagegen zeigte sich bei dem Normalthermometer V ein Einfluss der Temperatur auf die Geschwindigkeit, mit welcher die maximalen Depressionen eintraten. Es bedurfte bis zum Eintritt der letzteren

bei	30°	einer Erwärmung von c.	4 ¹ / ₂ Stunden
"	65	"	" " 2 "
"	80	"	" " 1 Stunde
"	100	"	" " 20 Minuten.

Es treten daher auch die von Erwärmungen herrührenden maximalen Nachwirkungsdilatationen, in völliger Uebereinstimmung mit den durch Torsion oder Biegung erzeugten, bei höheren Temperaturen rascher ein, als bei niedrigeren.

Thermometer VI und VII.

Da beide Thermometer bei Depressionsversuchen im April sich ganz identisch verhalten, und sowohl die zeitigen, als die deprimierten Nullpunkte bis auf $0^{\circ},01$ übereingestimmt hatten, so wurden die Thermometer bei den folgenden Versuchen vorläufig nur in einer Lage untersucht. Bei beiden traten die Depressionen verhältnissmässig rasch ein. Um zu constatiren, ob auch wirklich die Maximaldepression eingetreten sei, wurde bei dem letzten Versuche (bei c. 50°) eine etwas niedrigere Temperatur hergestellt. Bei beiden Thermometern trat in Folge dessen beim letzten Versuche wieder ein Steigen des Nullpunktes ein. Es war also in der That die Maximaldepression vorhanden.

Zur Berechnung der folgenden Tafeln wurden die mittleren Temperaturen der ganzen Versuchsreihe, und die Mittelwerthe der beiden letzten, maximal deprimierten Nullpunkte benutzt.

Thermometer VI.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},07$ C.

Für $51^{\circ},2$ maximal deprimierter Nullpunkt: $0^{\circ},041$.

Lage horizontal.

Datum	Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Mai 27.	473	$0^{\circ},182$	$18^{\circ},2$	$0^{\circ},015$	$0,018$	$-0^{\circ},003$
Juni 4.	500	$0\ 190$	$22\ 6$	$0\ 025$	$0,029$	$-0\ 004$
" 7.	521—527	$0\ 190$	$30\ 0$	$0\ 053$	$0,050$	$+0\ 003$
" 8.	537—540	$0\ 190$	$40\ 2$	$0\ 097$	$0,094$	$+0\ 003$
" 24.	611—613	$0^{\circ},150$	$45\ 4$	$0\ 080$	$0,086$	$-0\ 006$

Thermometer VII.

Ablesungsfehler $\pm 0^{\circ},007$ C.

Für $50^{\circ},7$ maximal deprimierter Nullpunkt: $0^{\circ},065$.

Lage horizontal.

Datum	Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Mai 28.	495	$0^{\circ},190$	$17^{\circ},3$	$0^{\circ},015$	$0^{\circ},015$	0
" 27.	474	$0\ 190$	$19\ 3$	$0\ 020$	$0\ 018$	$+0^{\circ},002$
Juni 7.	528	$0\ 193$	$22\ 0$	$0\ 026$	$0\ 024$	$+0^{\circ},002$

Lage vertical.

Datum	Nummer	zeit. Nullp.	m. Temp.	beob. Depr.	ber. Depress.	Differenz
Juni 7.	529—532	0°,193	30°,1	0°,053	0°,045	+0°,008
" 8.	543—547	0 193	40 3	0 093	0 081	+0, 012
" 17.	618—620	0 170	45 3	0 095	0 084	+0, 011

Aus den obigen Tabellen und denjenigen auf pag. 35 und 36 ergibt sich die Thatsache, dass schon nach 2 Stunden langem Liegen im Eise die, für Temperaturen von 45° eingetretenen Depressionen grossentheils wieder verschwunden waren. Diese Zeit reichte hin, um einen neuen Anfangszustand für das Quecksilbergefass zu schaffen, so dass die folgende Depression wieder proportional der Differenz zwischen dem zeitigen und dem maximal deprimirten Nullpuncte ausfiel.

Auch bei diesen Thermometern stimmen die Beobachtungen bei horizontaler Lage besser mit den berechneten Depressionen überein, als dies bei verticaler Stellung bei dem Thermometer VII der Fall ist. Dass dieses letztere schon bei Temperaturen von 30°, bei verticaler Stellung, kleine, über die Beobachtungsfehler hinausgehende Differenzen zeigt, rührt davon her, dass dasselbe bis — 35° reicht. Es ist daher das Quecksilbergefass schon bei einer Temperatur von 30° einem inneren Drucke von mehr als 280 Millim. ausgesetzt.

7) Zusammenstellung der Resultate.

Aus den vorstehenden Untersuchungen ergeben sich für alte und neue Thermometer aus gewöhnlichem, weissem Glase die folgenden Sätze:

Der Nullpunct der Thermometer ist in beständiger Oscillation begriffen und schon in Folge der Variationen der Zimmertemperatur messbaren Schwankungen unterworfen.

Es ist daher zweckmässig, den durch Erwärmungen auf 100° maximal deprimirten Nullpunct als Ausgangspunct zu wählen, da derselbe von diesen secundären Variationen vollständig frei ist und sich im Laufe der Zeit nur ganz allmähig um einen geringen Betrag verschiebt. An diesem Heraufrücken nimmt überdies auch der deprimirte Siedepunct Theil, so dass der Fundamentalabstand dieser deprimirten Fixpuncte constant bleibt.

Die tiefste Depression, welche der zeitige Nullpunct eines Thermometers, durch Erwärmung des letzteren auf eine bestimmte Temperatur,

erleiden kann, ist proportional der Differenz zwischen dem zeitigen und dem, für 100° maximal deprimirten Nullpuncte und ferner proportional dem Quadrate der Erwärmungstemperatur.

Diese Regelmässigkeit findet in sehr befriedigender Weise, im Gegensatze zu den bisherigen Anschauungen, gerade bei horizontal eintauchenden Thermometern statt, und in etwas geringerem Maasse auch bei vertical hängenden Thermometern.

Der Druck der inneren Quecksilbersäule bedingt daher bei verticaler Stellung der Thermometer nur Depressionen zweiter Ordnung, die von dem jeweiligen Drucke, dem Quadrat der Temperatur und von der Individualität des Thermometers abzuhängen scheinen.

Bedeutet T die wahre, t die abgelesene, von allen übrigen Fehlerquellen befreite Temperatur, γ den Stand des für 100° maximal deprimirten Nullpunctes und c denjenigen des zeitigen Nullpunctes, so ist nach längeren Erwärmungen die wahre Temperatur zu berechnen nach der Formel:

$$T = t - c + \frac{(c - \gamma)t^2}{100^2}$$

Durch Anwendung dieser Formel sind wir im Stande die Temperaturangaben der Quecksilberthermometer von der Individualität der letzteren unabhängig, also vergleichbar zu machen, ohne schon hiezu einer Vergleichung mit dem Luftthermometer zu bedürfen¹⁾. Wir brauchen blos von Zeit zu Zeit eine sorgfältige Bestimmung des für 100°, resp. 50° maximal deprimirten Nullpunctes vorzunehmen, und unmittelbar vor jeder Reihe von Temperaturmessungen den zeitigen Nullpunct zu bestimmen, um die anzubringende Nullpuncts correction nach längeren Erwärmungen mit grosser Annäherung berechnen zu können.

Wir brauchen ferner nach Erwärmungen, die 100° nicht überschritten haben, nur einen Tag zu warten, um das erste rasche Ansteigen des Nullpunctes vorübergehen zu lassen, dann können wir das Thermometer schon wieder zu genauen Messungen benutzen, falls wir unmittelbar vor den Messungen den zeitigen Nullpunct bestimmen.

1) In einer der folgenden Arbeiten werde ich speciell nachweisen, dass, bei Zugrundelegung des Fundamentalabstandes zwischen den deprimirten Fixpuncten und mit Benützung der obigen Formel zur Berechnung der anzubringenden Nullpuncts correctionen, die Uebereinstimmung der Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer eine grössere wird, als bisher, da alsdann in dem Intervall von 0 bis 100° das Quecksilberthermometer dem Luftthermometer höchstens um 0°,1 C. vorseilt.

Zur Controlle ist es gut, auch die Minima des Nullpunctes vor und nach den Messungen zu beobachten. Die Thermometer müssen hierbei nicht plötzlich, aber doch möglichst rasch abgekühlt werden, da in den ersten Minuten nach dem Herausnehmen aus dem Wasserbade der stark deprimirte Nullpunct nach starken Erwärmungen sehr rasch steigt. Es verhalten sich jedoch auch in dieser Hinsicht die Thermometer sehr verschieden.

Da die Curven, welche den Verlauf der Depressionen für gegebene Temperaturen darstellen, selbst bei unseren unterbrochenen Versuchsreihen, eine sehr einfache und regelmässige Gestalt haben, so wird es wohl um so mehr gelingen, die Abhängigkeit der Depressionen von der Zeitdauer bei ununterbrochenen Erwärmungen aufzufinden. Es wird alsdann die Möglichkeit gegeben sein, mit Quecksilberthermometern nicht nur genaue, sondern zugleich auch rasche Temperaturbestimmungen auszuführen.

Zum Schlusse erfülle ich noch eine angenehme Pflicht, indem ich Herrn Prof. Dr. O. E. Meyer, sowohl für die liberale Gewährung aller zu dieser Untersuchung erforderlichen Mittel, als auch für die freundliche Ueberlassung seines werthvollen Normalthermometers meinen herzlichsten Dank ausspreche. Ebenso bin ich den Herren Professoren Dorn, Löwig und Poleck für das Leihen ihrer Thermometer, ganz besonders aber den Herren Stud. phys. Rosencrantz und Stud. chem. Hofferichter zu Danke verpflichtet für die Beihülfe, welche letztere mir sowohl bei den Siedepunctsbestimmungen, als auch bei den sehr mühsamen Berechnungen der Mitteltemperaturen mit grösster Bereitwilligkeit geleistet haben.

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

Lebenslauf.

In Bern am 18. Dezember 1845 geboren, erhielt ich theils von meinem leider schon im Jahre 1855 verstorbenen Vater, theils in einer Privatschule den ersten Unterricht. Im Herbst 1864 aus der Kantonsschule mit dem Zeugniss der Reife entlassen, widmete ich mich dem Studium der Naturwissenschaften. Während acht Semestern hörte ich auf der Hochschule zu Bern die philosophischen, mathematischen und naturwissenschaftlichen Vorlesungen der Herren Prof. *Fischer*, *Gerwer*, *Schläfli*, *Schwarzenbach*, *Sidler*, *B. Studer*, *Trechsel* und *Wild*. Ueberdiess ertheilte ich in den Jahren 1865 und 66 in der städtischen Realschule und in der bernischen Kantonsschule Unterricht in den Naturwissenschaften und in der Mathematik. Während der letzten vier Semester war ich Assistent am physikalischen Cabinet und an der Sternwarte. Im Herbst 1868 bezog ich die Universität zu Königsberg i./Pr. um daselbst Physik zu studiren, nahm jedoch zu Ostern 1869 eine Stelle als wissenschaftlicher Gehülfe des Directors des physikalischen Central-Observatoriums in St. Petersburg an. Herr Akademiker *Wild* übertrug mir die Leitung der meteorologischen Beobachtungen, die Ausführung physikalischer und meteorologischer Untersuchungen und unterstützte auf das Bereitwilligste meine eigenen Arbeiten. Nach sieben Semestern kehrte ich wieder nach Königsberg zurück, um mich unter der Leitung des Herrn Prof. *F. E. Neumann* in der theoretischen Physik weiter auszubilden. Drei Semester hindurch besuchte ich seine Vorlesungen und nahm an den Uebungen des physikalischen Seminars regelmässig Theil. Ausserdem hörte ich noch Vorlesungen bei den Herren Prof. *Richelot*, *Rosenhain*, *Caspary* und *Zaddach*. Seit Ostern 1874 bin ich Assistent am physikalischen Cabinet der Universität zu Breslau.

Allen meinen Lehrern, besonders aber den Herren Prof. *B. Studer*, *Sidler*, *Wild* und *F. E. Neumann* sage ich meinen herzlichsten Dank für ihre Anregung und Förderung, ebenso Herrn Prof. Dr. *O. E. Meyer* für die bereitwilligste Gewährung aller zu meinen Untersuchungen erforderlichen Mittel.

Johann Pernet.

Thesen.

- 1) Nachwirkungsdilatationen verringern unter Umständen nicht nur die Genauigkeit absoluter Längen- und Volumsbestimmungen, sondern sogar diejenige der Vergleichen.
- 2) Eine Reorganisation der magnetischen Messungen nach einheitlichen Principien, und eine Ausbreitung des Beobachtungsnetzes ist dringend geboten.
- 3) Das langsame Fortschreiten der Molecularphysik wird nicht lediglich durch mathematische Schwierigkeiten, sondern ebenso sehr durch das unzureichende Material bedingt.
- 4) Das Aufsteigen des Saftstromes in den Pflanzen muss ohne Zuhilfenahme der Capillarität erklärt werden.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

APR 1993

IGSWERK
olau
UNGSWERK
LAUINGEN

Pernet, Johann,

Beiträge zur Thermometrie 1. Ueber die Nullpuncts-Depressionen der Normal-Thermometer. Inaugural-Dissertation, welche mit Genehmigung der Philosophischen Facultät der k. Universität zu Breslau ... vertheidigen wird der Verfasser Johann Pernet

München 1875

Phys.sp. 833 h

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11320792-7